

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年11月25日 (25.11.2004)

PCT

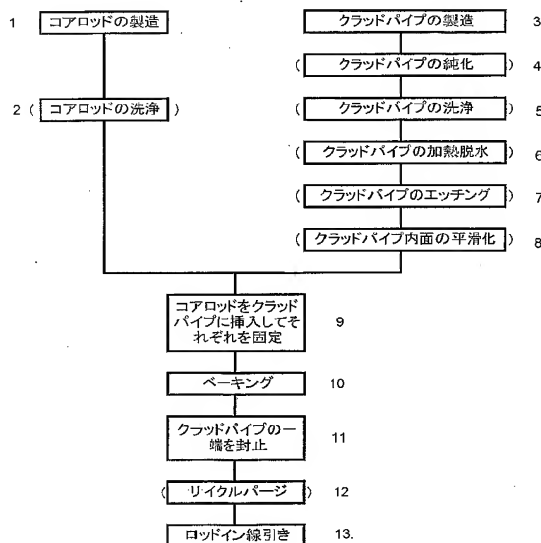
(10) 国際公開番号
WO 2004/101456 A1

- (51) 国際特許分類: C03B 37/012, 37/023, 37/027, G02B 6/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/007039
- (22) 国際出願日: 2004年5月18日 (18.05.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-139732 2003年5月19日 (19.05.2003) JP
特願2003-139733 2003年5月19日 (19.05.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大賀 裕一 (OHGA, Yuichi) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP). 大西 正志 (ONISHI, Masashi) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP). 嘉数 修 (KASUU, Osamu) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP). 加藤 秀一郎 (KATO, Shuichiro) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP). 足立 徹 (ADACHI, Toru) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP). 佐々木 隆 (SASAKI, Takashi) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP). 平野 正晃 (HIRANO, Masahiko) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER AND METHOD OF PRODUCING THE SAME

(54) 発明の名称: 光ファイバとその製造方法



- 1...CORE ROD PRODUCTION
2...CORE ROD CLEANING
3...CLAD PIPE PRODUCTION
4...CLAD PIPE PURIFICATION
5...CLAD PIPE CLEANING
6...CLAD PIPE HEATING AND DEHYDRATION
7...CLAD PIPE ETCHING
8...CLAD PIPE INNER SURFACE SMOOTHING
9...CORE ROD IS INSERTED IN CLAD PIPE AND FIXED INDIVIDUALLY
10...BAKING
11...ONE END OF CLAD PIPE IS SEALED
12...CYCLE PURGE
13...ROD-IN-DRAWING

(57) Abstract: A core rod is inserted in a clad pipe, and the moisture in a clearance between the core rod and the clad pipe is removed. The clearance is connected to a drying gas atmosphere and/or evacuated so as to heat and integrate them, during which time an optical fiber is drawn. Alternatively, the core rod is inserted in the clad pipe and the moisture on the core rod surface and on the inner surface of the clad pipe is removed, during which time an optical fiber is drawn from one end. Thereby, an optical fiber of high quality is efficiently produced.

(57) 要約: コアロッドをクラッドパイプに挿入し、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間の水分を除去し、隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および/または減圧して両者を加熱一体化しつつ光ファイバを線引する。または、コアロッドをクラッドパイプに挿入し、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面の水分を除去しつつ一端から光ファイバを線引する。これにより高品質な光ファイバを生産性よく製造する。



Masaaki) [JP/JP]; 〒2248588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 中野 稔, 外 (NAKANO, Minoru et al.); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GI, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

— 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明細書

光ファイバとその製造方法

5 技術分野

本発明は光ファイバの製造方法および光ファイバに関する。

背景技術

円筒状をなすクラッド用ガラスの内部に、円柱状をなすコア用ガラスを挿入し
10 た後、加熱して線引することにより光ファイバを製造する方法が特開 2 0 0 0 -
2 3 3 9 3 7 号公報、W O 0 3 / 0 8 0 5 2 2、または W O 0 1 / 9 0 0 1 0 に
開示されている。

特開 2 0 0 0 - 2 3 3 9 3 7 号公報に開示された方法では、コア用ガラスの径
に対するクラッド用ガラスの外径の比を 1 0 以上とするとともにコア用ガラスの
15 径およびクラッド用ガラスの内径の寸法誤差を 5 μ m 以内とする。

W O 0 3 / 0 8 0 5 2 2 に開示された方法では、機械加工されて最終寸法とさ
れた外径 1 0 0 mm 以上の石英ガラス管にコアロッドを同軸に配置してガラス管
とコアロッドとの間の隙間をつぶしながらそれらの下端から光ファイバを線引す
る。

20 W O 0 1 / 9 0 0 1 0 に開示された方法では、コアガラス層の周囲に光学クラ
ッドガラス層を有し、コアガラス層の径に対する光学クラッドガラス層の外径の
比が 1 から 2. 2 の間にあり、かつ深さ 1 0 μ m までの表面近傍の OH 含有量が
1 重量 p p m 以下であるコアロッドと、OH 含有量が 1 重量 p p m 以下のクラ
ッドパイプとを同軸に配置して線引して光ファイバを製造することが開示されてい
25 る。

プリフォームロッドとガラス管とをそれらの一端で密封し、他端に真空ポンプ
を接続して、プリフォームロッドとガラス管との間の隙間を吸引してガラス管を
加熱してプリフォームロッドをガラス管にオーバークラディングさせて光ファ
イバ母材を製造する方法、あるいはガラス管をプリフォームロッド上にコラプス

させて光ファイバを線引する方法がWO 98/43921に開示されている。

石英管の内側に石英管よりも屈折率の高い合成ガラスを内付けし、これを線引しながら光ファイバを得る方法が特開昭62-3034号公報に開示されている。特開昭62-3034号公報に開示された方法では、石英管の一端を封止し、
5 続いて石英管を加熱しながら石英管の他端から石英管内のガスを吸気して石英管内部の除湿を行い、続いて石英管内部にハロゲンガスまたは水素を含まないハロゲン化合物ガスを満たして光ファイバを線引する。

大型石英ガラス管と、コア部とクラッド部のうち光が伝送する部分（光学クラッド部）からなる光ファイバ用コアガラスロッドとをロッドインチューブ法で
10 一体化して大型石英ガラスプリフォームを製造する方法が特開平7-109141号公報に開示されている。特開平7-109141号公報に開示された方法では、大型石英管は、外径50～300mmφ、外径と内径の比が1.1～7、厚さ10mm以上、厚さ誤差2%以下、内表面粗さ20μm以下である。また特開平7-109141号公報には光学クラッド部の外径はコア部の径の2倍は最低限必
15 要であるとされている。

特表2002-501871には、ロッドを管内に位置させ、ロッドと管の間に環状の空隙を提供し、管の一端をつぶし、環状の空隙に対して真空を付与し、管の他端をつぶす光ファイバプリフォームの製造方法が開示されている。

一般に光ファイバでは伝送される光のうち相当部分が光学クラッド部にまで
20 み出しており、コアとクラッドの間の界面や光学クラッド部に存在する不純物や不整は伝搬する光の損失の増加や機械強度の低下などの原因となり、光ファイバの特性に多大の影響を及ぼす。そのため光ファイバのコアに相当する部分（コア部分）を単独で合成することは一般的ではなく、特にシングルモード光ファイバを製造する場合には、コア部分の周囲に所定量の光学クラッド部をもち、光学ク
25 ラッド部とコア部分との径の比が、3以上、5以下となるように両者を同時に形成した上で、さらにその周囲に残りのクラッド部分を形成することで、光学クラッドとその周囲のクラッドとの界面やその近傍に不純物や不整が存在しても光ファイバの特性に影響を与えないようにして製造されている。

一方、一般に光ファイバのコア部分は精密に屈折率プロファイルを制御する必

要があり、その合成にはクラッド部分の合成に比べてコストおよび製造時間がかかる。このようにコア部分と光学クラッド部を同時に形成する場合には、光学クラッド部についてもコアと同程度のコストでしか製造できない。

5 発明の開示

本発明の目的は、低損失かつ生産性に優れた構造をもつ光ファイバとその製造方法を提供することである。

10 目的を達成するため、コアロッドをクラッドパイプに挿入し、加熱一体化しつつ線引することを含む光ファイバの製造方法が提供される。この製造方法は、コアロッドをクラッドパイプ内に挿入する工程、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面の水分を除去する工程、クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程、および、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および／または減圧した状態で、一端から線引して光ファイバとする工程を有する。

15 本明細書において、「コアロッド」は、光ファイバのコアに相当する部分（コア部分）のみからなるものだけではなく、コア部分の周囲にコア部分よりも屈折率が小さいクラッド部の一部（以下第一クラッド部と称す）を有するものも含む。

水分を除去する工程では、隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および／または減圧しながら、コアロッドとクラッドパイプを加熱してもよい。また、水分を除去する工程は、隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および／または減圧しながらコアロッドとクラッドパイプを加熱する第一副工程と、隙間をハロゲンガスまたはハロゲン化合物ガスを含む乾燥気体雰囲気に保ちながらコアロッドとクラッドパイプを加熱する第二副工程を含んでもよい。クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程は、クラッドパイプの一端を封止し、さらに隙間を減圧しながらクラッドパイプの他端を封止する工程であってもよい。

25 コアロッドをクラッドパイプに挿入し、加熱一体化しつつ線引することを含む別の光ファイバの製造方法が提供される。この製造方法は、コアロッドをクラッドパイプ内に挿入する工程、クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程、および、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら

らコアロッドとクラッドパイプを加熱して、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面に付着する水分を除去しつつ一端から光ファイバを線引する工程を有する。クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程では、隙間を乾燥気体雰囲気と連結し、かつ減圧してもよく、コアロッドとクラッドパイプとを一端において一体化する工程を含んでもよい。

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 10185 10190 10195 10200 10205 10210 10215 10220 10225 10230 10235 10240 10245 10250 10255 10260 10265 10270 10275 10280 10285 10290 10295 10300 10305 10310 10315 10320 10325 10330 10335 10340 10345 10350 10355 10360 10365 10370 10375 10380 10385 10390 10395 10400 10405 10410 10415 10420 10425 10430 10435 10440 10445 10450 10455 10460 10465 10470 10475 10480 10485 10490 10495 10500 10505 10510 10515 10520 10525 10530 10535 10540 10545 10550 10555 10560 10565 10570 10575 10580 10585 10590 10595 10600 10605 10610 10615 10620 10625 10630 10635 10640 10645 10650 10655 10660 10665 10670 10675 10680 10685 10690 10695 10700 10705 10710 10715 10720 10725 10730 10735 10740 10745 10750 10755 10760 10765 10770 10775 10780 10785 10790 10795 10800 10805 10810 10815 10820 10825 10830 10835 10840 10845 10850 10855 10860 10865 10870 10875 10880 10885 10890 10895 10900 10905 10910 10915 10920 10925 10930 10935 10940 10945 10950 10955 10960 10965 10970 10975 10980 10985 10990 10995 11000 11005 11010 11015 11020 11025 11030 11035 11040 11045 11050 11055 11060 11065 11070 11075 11080 11085 11090 11095 11100 11105 11110 11115 11120 11125 11130 11135 11140 11145 11150 11155 11160 11165 11170 11175 11180 11185 11190 11195 11200 11205 11210 11215 11220 11225 11230 11235 11240 11245 11250 11255 11260 11265 11270 11275 11280 11285 11290 11295 11300 11305 11310 11315 11320 11325 11330 11335 11340 11345 11350 11355 11360 11365 11370 11375 11380 11385 11390 11395 11400 11405 11410 11415 11420 11425 11430 11435 11440 11445 11450 11455 11460 11465 11470 11475 11480 11485 11490 11495 11500 11505 11510 11515 11520 11525 11530 11535 11540 11545 11550 11555 11560 11565 11570 11575 11580 11585 11590 11595 11600 11605 11610 11615 11620 11625 11630 11635 11640 11645 11650 11655 11660 11665 11670 11675 11680 11685 11690 11695 11700 11705 11710 11715 11720 11725 11730 11735 11740 11745 11750 11755 11760 11765 11770 11775 11780 11785 11790 11795 11800 11805 11810 11815 11820 11825 11830 11835 11840 11845 11850 11855 11860 11865 11870 11875 11880 11885 11890 11895 11900 11905 11910 11915 11920 11925 11930 11935 11940 1

の平均粘度がクラッドパイプの平均粘度以上であってもよい。

- くわえて、コアとその外周にコアよりも屈折率が小さいクラッドを有し、光ファイバの軸に垂直な断面においてロッドとパイプとが加熱一体化されて形成される境界を一つのみ有し、 $1.38\mu\text{m}$ の波長の光の伝送損失が 0.5 dB/km 以下である光ファイバが提供される。

- コアの中心から境界までの距離 p_1 とコアの半径 r_1 との比 p_1/r_1 は、1以上2未満であってもよい。境界からコアまでの部分である第一クラッドに対するコアの比屈折率差が 0.2% 以上であり、第一クラッドの厚みを t としたとき、コアの中心と同心であって半径 $r+2t$ の円と境界とに挟まれる部分の屈折率と第一クラッドの屈折率とが実質的に等しくてもよい。 1200°C におけるコアの平均粘度がクラッドの平均粘度以上であってもよい。コアが純石英ガラスあるいは添加材を含んだ石英ガラスからなり、クラッドがフッ素添加石英ガラスを主成分とするガラスからなってもよい。

15 図面の簡単な説明

本発明は、以下において、図面を参照して詳細に説明される。図面は、説明を目的とし、発明の範囲を限定しようとするものではない。

図1は、本発明の第一実施形態を示す流れ図である。

図2は、本発明の第一実施形態の変形例を示す流れ図である。

- 20 図3は、多バーナ多層付け法の一態様を示す図である。

図4は、多バーナ多層付け法のバーナの折り返しの一態様を示す図である。

図5は、クラッドパイプの穿孔の一態様を示す図である。

図6は、クラッドパイプの純化の一態様を示す図である。

図7aは、クラッドパイプと支持パイプとの融着接続の一態様を示す図であり、

- 25 図7bは、クラッドパイプと支持パイプとの有着接続の別の態様を示す図である。

図8は、クラッドパイプを加熱する一態様を示す図である。

図9は、コアロッドをクラッドパイプに挿入する一態様を示す図である。

図10は、コアロッドの固定治具の一態様を示す図である。

図11は、コアロッドをクラッドパイプ内に挿入して固定する一態様を示す図

である。

図12は、コアロッドをクラッドパイプ内に挿入して固定する別の態様を示す図である。

図13は、クラッドパイプの一端を封止する工程の一態様を示す図である。

- 5 図14aは、一端が封止されたクラッドパイプの一態様を示す図であり、図14bは、クラッドパイプの一端を封止する別の態様の要部を示す図である。

図15は、ロッドイン線引の一態様を示す図である。

図16は、ロッドイン線引の他の態様の主要部を示す図である。

図17は、本発明の第二実施形態を示す流れ図である。

- 10 図18は、本発明の第二実施形態のロッドイン線引の一態様の要部を示す図である。

図19は、本発明の第三実施形態を示す流れ図である。

図20は、本発明の第三実施形態におけるコアロッドとクラッドパイプの間の隙間の減圧工程の一態様を示す図である。

- 15 図21は、本発明の第三実施形態におけるクラッドパイプの両端を封止する一態様を示す図である。

図22は、本発明の第三実施形態のロッドイン線引開始時の一態様を示す図である。

図23は、本発明の第三実施形態のロッドイン線引の一態様を示す図である。

20

発明を実施するための最良の形態

本発明の実施形態が、以下において、図面を参照して説明される。図面において、説明の重複を避けるため、同じ符号は同一部分を示す。図面中の寸法の比率は、必ずしも正確ではない。

25

コアロッドをクラッドパイプに挿入して加熱一体化することを以下ではロッドインコラプスという。コアロッドをクラッドパイプに挿入して加熱一体化しつつ線引することを以下ではロッドイン線引という。

光ファイバの製造過程でロッドイン線引を行うと、得られた光ファイバには、

ロッドとパイプとが加熱一体化されて形成される境界面（以下ロッドイン界面ともいう）が形成される。光ファイバをその軸と垂直な面で切断した後、断面をフッ化水素酸溶液、またはフッ化アンモニウムを混合したバッファードフッ化水素酸溶液中に浸漬して化学エッチングし、この断面を電子顕微鏡により観察すると、
5 境界は段差として観察される。

本発明の光ファイバの製造方法においては、コアロッドをクラッドパイプ内に挿入し、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面の水分を除去し、クラッドパイプの少なくとも一端を封止し、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および／または減圧した状態で、コアロッドとクラッドパイプとを加熱する。加熱されて軟化したコアロッドとクラッドパイプとは縮
10 径しつつ一体化され、そのまま線引される。

このようにすることで、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面、すなわち両者の界面付近の不純物、特にOH基、あるいは不整を効果的に除去できるとともに、コアロッドとクラッドパイプを一体化する際の不純物の混入を抑制すること
15 ができる。これによりロッドイン線引により製造された光ファイバとしては従来にない光伝送特性の優れた光ファイバを製造することができる。また、光学的クラッドの大半または全てをクラッドパイプとしてコア合成とは別工程でかつ一度に形成するので、製造コストの低減および製造時間の短縮が可能である。

線引工程では細径化に伴いパイプ外周部から内径中心方向に向かって均一に外力が加わるため、縮径が速やかでありかつ均一であり、コアロッドとの界面に気泡が残ったり、コアやクラッドが非円または偏心するおそれが少ない。したがって大型厚肉クラッドパイプであっても、そのクラッドパイプを用いてロッドイン線引して良好な光ファイバを製造することができる。
20

また本発明による光ファイバは、コアとその外周にコアよりも屈折率が小さいクラッドを有し、光ファイバの軸に垂直な断面においてロッドとパイプとが加熱一体化されて形成される境界を一つのみ有し、 $1.38\mu\text{m}$ の波長の光の伝送損失が 0.5 dB/km 以下であり、不純物、特に水分が少なく低損失であり、かつ生産性に優れた構造をもつ。
25

本発明の実施形態を以下に記載する。図1は、本発明の第一実施形態を示す流れ図である。図2は、本発明の第一実施形態の変形例を示す流れ図である。以下、図1に示した例を中心に各工程について説明する。

- 第一実施形態では、それぞれ別に製造されたコアロッドとクラッドパイプを用意する。コアロッドおよびクラッドパイプは自作したもの、第三者から購入したものいずれも使用可能である。図1または図2にカッコを付して示した工程は省略することが可能な工程である。ロッドイン線引の前処理工程として、クラッドパイプを純化、洗浄、加熱脱水、エッチング、平滑化、およびコアロッドの洗浄を行うことが好ましい。そして、コアロッドをクラッドパイプに挿入して固定する。次に、ベーキング工程に移り、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面を加熱して脱水する。次にクラッドパイプの一端を封止する。次に、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を乾燥気体でサイクルパージすることが好ましい。次に、クラッドパイプを加熱して縮径させてコアロッドと一体化させつつ、一体化した部分から光ファイバを線引するロッドイン線引を行う。
- 図2に示すように、クラッドパイプの前処理工程においては、必要に応じて内径に合わせてクラッドパイプの外表面を研削またはエッチングして所定の外径および内径を有するクラッドパイプとすることもできる。また、クラッドパイプを把持するための支持パイプをクラッドパイプに接続することが好ましい。

20 <コアロッドの製造>

- VAD法によりコアロッドを製造する。コア合成バーナおよび第一クラッド合成バーナを使用し、それぞれのバーナにガラス原料ガス、可燃性ガス、助燃性ガス、および必要に応じ添加材原料ガスを供給し、出発材の下にガラス微粒子を軸方向に堆積させてガラス微粒子堆積体を製造する。添加材原料ガスは必要に応じコア合成バーナまたはクラッド合成バーナのどちらかあるいは両者に供給する。これらガラス合成バーナは必要に応じて使用する本数を決定する。このようにして最終的に透明ガラス化して得られる第一クラッド部の径（この場合はコアロッドの径と等しい） D とコア部の径 d との比 D/d が1を超え2未満となる範囲の所定の値で、かつ所定の屈折率プロファイルが得られるように、可燃性ガス、助

燃性ガス、添加材原料ガス流量、ガラス堆積量、等を調整してガラス微粒子堆積体を製造する。

5 コア部のみからなるコアロッドを製造する場合は、クラッド合成バーナを使用せず、コア合成バーナにガラス原料ガス、可燃性ガス、助燃性ガス、および必要に応じ添加材原料ガスを供給し、出発材の下にガラス微粒子を軸方向に堆積させてガラス微粒子堆積体を製造する。この場合コアロッドの径 D 、コア部の径 d の比 D/d が1である。

10 コアロッドの製造にはOVD法も適用可能である。出発材の周囲にまずコア部となるガラス微粒子を堆積させる。第一クラッドを有するコアロッドを製造する場合は、コアの周囲に第一クラッド部となるガラス微粒子を堆積する。最終的に透明ガラス化して得られる第一クラッド部の径（この場合はコアロッドの径と等しい） D とコア部の径 d との比 D/d が1より大きく2未満となる範囲の所定の値となるようにコア部と第一クラッド部の堆積量を調整する。OVD法による場合は、得られるガラス微粒子堆積体から出発材を抜き取る。

15 上記のいずれの場合も得られるガラス微粒子堆積体を脱水および透明化して、コアの周囲にクラッドを有さない、あるいはごく僅かにクラッドを有するコアロッドを製造する。OVD法でガラス微粒子堆積体を製造したときは透明化して得られたガラスパイプを加熱して中実化する、あるいはガラス微粒子堆積体の透明化と同時に中実化してコアロッドとする。以上示したVAD、OVD法以外にも、
20 ゴルゲル法、MCVD法、PCVD法、その他公知の手段を単独または組み合わせて用いることでコアロッドの製造が可能である。透明ガラス化したコアロッドは必要に応じ、抵抗加熱炉、誘導加熱炉等の公知の加熱手段を用い所定の径に延伸加工する。例えば3～30mmの径になるように延伸する。

25 <クラッドパイプの製造>

VAD法またはOVD法でクラッドパイプを製造することができる。最終的に外径の大きなクラッドパイプを得る場合は、多数のバーナを並列させてバーナ列とし、バーナ列と出発材とを相対的にバーナ間隔の数倍以下の距離だけ動かす多本バーナ多層付け（MMD）法が望ましい。MMD法を含むOVD法では出発材の周

囲にガラス微粒子を堆積させガラス微粒子堆積体を製造する。得られるガラス微粒子堆積体から出発材を抜き取った後、脱水および透明化してクラッドパイプを得る。あるいは得られるガラス微粒子堆積体を脱水、透明化した後に出発材を抜き取ってクラッドパイプを得る。

- 5 MMD法について、図3を参照して説明する。この方法では、1本のバーナではガラス微粒子堆積体の長手方向の一部分のみを形成するようにガラス微粒子を堆積させ、一部分が連続して一つのガラス微粒子堆積体となる。容器4内に出発材1を収納し、出発材1に対向させて複数のバーナ2を配列してバーナ列7を形成させる。出発材1またはバーナ列7のいずれか、または両者を移動させて、出
10 発材1とバーナ列7を相対的に往復移動させる。往復移動の幅は略バーナ間隔とする。ここでバーナ間隔とは各バーナの中心間の距離をいう。バーナ2から供給されるガラス微粒子が出発材1上に堆積してガラス微粒子堆積体6となる。バーナにガラス原料ガス、可燃性ガスおよび助燃性ガスが供給されてバーナから火炎が噴き出され、火炎中でガラス微粒子が合成されてもよく、バーナにガラス微粒
15 子が供給されて噴き出されるのでもよい。容器中にはバーナ周囲等に設けられた通気口3から清浄ガスが供給され、容器4内のガスは堆積しなかったガラス微粒子とともに排気口5から排気される。

- ガラス微粒子堆積体6の径を長さ方向に一定とするために、往復移動の折り返し点が一定の箇所にならないように分散させる。図4では折り返し点が初期の位置に戻るまでの最も外側のバーナ2aの動き(実線)とその内側の2bの動き(点
20 線)を示し、その他のバーナを省略している。図4ではバーナ間隔の5分の1ずつ折り返し点が移動し、折り返し点を上下させて分散させている。ガラス微粒子堆積体の両端部に堆積される層数は出発ロッドの位置により、2層、6層、10層、14層、18層となり両端部以外では20層堆積される。

- 25 VAD法でクラッドパイプを作る場合は、出発材の下部にガラス微粒子堆積体を形成し、脱水および透明化して中実のガラスロッドを得た後、それを穿孔する方法がある。穿孔方法は、ドリル等で孔を開けるのでもよく、図5に示すような加熱して軟化させたガラスロッドの中心付近に穿孔治具を押し込んで孔を開ける方法もある。またOVD法と同様に出発材の周囲にガラス微粒子を堆積させ、出

発材を抜き取った後、脱水および焼結する、あるいは得られるガラス微粒子堆積体を脱水、透明化した後に出発材を抜き取ってクラッドパイプとすることも可能である。

クラッドパイプの製造方法についてはコアロッドの製法と同様、種々の公知技術も使用可能である。クラッドパイプは必要に応じ、内面や外面を機械的に研削、研磨したり、所定の外径となるよう延伸したりして、内径、外径、内外面粗さを調整する。

図5を参照して、加熱して軟化させたガラスロッドの中心付近に穿孔治具を押し込んで孔を開ける方法について説明する。クラッドパイプとなるロッド10を穿孔装置20に取り付ける。加熱部23の両側に設けられた把持手段22a、22bのチャック27a、27bで支持パイプ11a、11bを把持する。引取側から穿孔治具21を支持パイプ11bの孔に挿入してロッド10の端に押しあてる。穿孔治具21は支持部材26を介して固定手段28に固定されている。穿孔治具21と向き合ってロッド10を挟むようにダイス25をロッド10の外面に押しあてる。ダイス25の内径はロッド10の径よりもやや小さめとする。ダイス25は発熱部23の引取側に隣接して配置する。

加熱源30を発熱させてロッド10を1800℃から2600℃に加熱して軟化させる。把持手段22a、22bをそれぞれ所定の速度で送り側から引取側へ(図5で矢印Aの方向)、基台24a、24bの上を移動させ、ロッド10を引取側へ送っていく。穿孔治具21が軟化されたロッド10に押し込まれて孔を形成する。ダイス25によりクラッドパイプ10bは所定の外形とされる。

<純化工程>

このようにして得られたクラッドパイプの純化処理を行う。クラッドパイプ内に直流高電圧、例えば5kV(電界で表せば10V/mm)以上を印加しつつ、クラッドパイプの温度を500℃から1500℃の間の所定温度に保ちながら、3時間以上保持する。これによりガラス中、ガラス内、またはガラス外表面に付着混入した金属不純物陽イオンを陰極側に移動させる。その後不純物が集まった部分のガラスを除去することで、より高品質のクラッドパイプを得ることができ

る。

例えば、図6に示すように、加熱炉32内に陽極電極31a、陰極電極31bを設けて、クラッドパイプ10bを加熱炉32に入れて陽極電極31a、陰極電極31bで挟む。支持パイプ11bを加熱炉外に出して把持手段34で支持パイプ11bを把持する。ヒータ33を発熱させて、クラッドパイプを500℃ないし1300℃に加熱する。電極31a、31b間に30kVの直流高電圧をかけて金属不純物を陰極電極31b側に移動させる。その後、クラッドパイプ10bを加熱炉32から取り出して外周部を研削して不純物を除去する。このとき、クラッドパイプの内周の外周に対する偏心率が0.3%以下となるように研削すると、そのクラッドパイプから製造される光ファイバの非円や偏心を小さくすることができて好ましい。ここでクラッドパイプの内周の外周に対する偏心率とは、パイプ内径中心と外径中心との位置ずれ量を外径で除した値である。

<HF 洗浄処理>

前述のようにして得られるコアロッドおよびクラッドパイプをフッ化水素水溶液に浸漬し、洗浄する。使用するフッ化水素水溶液は、重量濃度が0.1重量%から5.0重量%の間である取り扱いが容易である。浸漬時間は1時間以上とする。これによりコアロッド表面、クラッドパイプ内外面の不純物汚染層を除去できる。

洗浄後のコアロッドおよびクラッドパイプは、He、Ar等の不活性ガス、N₂、O₂ガスや、Cl₂、フッ素等のハロゲンガス、塩化チオニル(SOCl₂)、SiF₄等のハロゲン原子を含むガス、さらにはSiCl₄、GeCl₄、POCl₃、PCl₃、BCl₃、BBr₃等のガス、あるいはそれらの混合ガス雰囲気中で加熱して脱水する。

25

<支持パイプ接続>

クラッドパイプの両端には必要に応じて支持パイプを接続し、クラッドパイプを取扱うときはその支持パイプを把持するようにする。把持箇所は傷がつく場合があるが、クラッドパイプの外部に把持箇所を設けることで有効なクラッドパイ

5 プ部分に傷がつくのを防ぐ。図7 aに示すように、クラッドパイプ10 bおよび支持パイプ11の接続箇所を酸水素バーナ12等の加熱源で加熱してクラッドパイプ10 bの両端に支持パイプ11を融着接続する。クラッドパイプ10 bの形状によっては、クラッドパイプ10 bの両端部を切断してから支持パイプ11を
10 接続してもよい。酸水素バーナ12の代わりにプラズマバーナを使用する、あるいは図7 bに示すように、抵抗発熱型または誘導発熱型のヒータ13を使用する等、無水の加熱源を使用すると接続箇所にOH基が混入することがない。つまり、クラッドパイプの両端部のOH基濃度を低く保つことができる。これにより製造される光ファイバ全長においてOH基による損失を小さくすることができる。線
15 引開始側または中実化開始側となる支持パイプはクラッドパイプより径を小さくするのが望ましい。後述するように、ロッドイン線引時に支持パイプをコラプスしてコアロッドまたはコアロッドの端に接続した支持部材と一体化することによりクラッドパイプの端を封止する場合に、支持パイプの径が小さいほうが封止が容易であるからである。

15

＜取り付け＞

図8に示すように、クラッドパイプ10 bを縦にして線引装置に取り付ける。上下の支持パイプ11 b、11 cをそれぞれ把持手段43 b、43 aに取り付ける。

20 クラッドパイプを把持手段に取り付けた後、コアロッドを挿入する前にクラッドパイプ内に乾燥ガスを流してクラッドパイプ内表面を80℃ないし1000℃に加熱することが望ましい。150ないし800℃に加熱することがさらに望ましい。クラッドパイプ内表面に物理的に付着している水分が除去される。クラッドパイプと同程度の長さの熱源で全体を加熱してもよく、クラッドパイプよりも
25 短い熱源をクラッドパイプに相対的に移動して加熱してもよい。クラッドパイプ、コアロッドおよび両者の間の乾燥ガスを加熱する方法としては、クラッドパイプ外部から火炎を吹き付けること、プラズマ化させた気体を吹き付けること、加熱したヒータから熱を加えることがあげられる。図8にはクラッドパイプとほぼ同じ長さのヒータ70を使用して加熱範囲全体を同時に加熱する例を示す。

＜気相エッチング＞

クラッドパイプの加熱脱水工程の後に、クラッドパイプ内表面を気相エッチングする工程を行ってもよい。エッチング処理によりパイプ内表面に残留した不純物をより効果的に除去することができるので、パイプ内表面に不純物の残留が多い場合に有効な方法である。パイプ内表面の異物が減って線引時の断線や光ファイバの異常点を減少できる。エッチングガスには SF_6 、 NF_3 、 SiF_4 、 CF_4 、 C_2F_6 等のフッ素化合物ガスやフッ素ガス等が使用可能である。これらの化合物ガスに、ヘリウムやアルゴン等の不活性ガス、 N_2 、 O_2 、さらに脱水効果や脱遷移金属効果をもつ化合物ガス、例えばC 1 原子を含む化合物ガス等をも含む混合ガスでもよい。

気相エッチング工程ではパイプ内表面の温度を1 0 0 0ないし2 3 0 0℃に加熱する。フッ素化合物ガスやフッ素ガス等が分解し、ガラスと反応することでパイプ内表面がエッチングされる。エッチングによる研削量は1 0 μm 以上とし、パイプの内面の内面の荒れをなくすことが望ましい。

＜内面平滑化＞

クラッドパイプ内にC 1₂ガス、あるいは塩素原子を含む化合物ガス、 O_2 ガス、Heガスないしはそれらを2種以上含む混合ガスを流してクラッドパイプ内表面を1 7 0 0℃ないし2 3 0 0℃に加熱してクラッドパイプ内表面を平滑化する工程を行うことも可能である。これによりクラッドパイプを殆ど変形させずに、当該パイプ内面に残留する微小な傷、あるいは凹凸部が熔融平滑化され、内面粗さを2 0 μm 以下にすることができる。塩素ガスを使用した場合は、クラッドパイプに化学的に付着している水分や当該パイプに残留する遷移金属系不純物を除去でき、気泡の発生防止に効果的である。

＜コアロッドの挿入＞

図9に示すように、コアロッド40をクラッドパイプ10b内に挿入する。蓋47bに固定されて支持パイプ11bに取り付けられた配管42からクラッドパ

イプ10b内に乾燥気体を流すことにより、クラッドパイプ10b内に大気が混入して大気中の水分がコアロッド40やクラッドパイプ10bに付着することを防止する。乾燥気体は、コアロッド40を挿入する側の反対側からクラッドパイプ10b内に流す。コアロッド40を下から挿入するときは乾燥気体を上から流し、その逆でもよい。蓋47bは密閉可能がものが好ましく、フッ素化合物樹脂製のものがあげられる。蓋の密閉性をあげるためにOリング等のシール材を併用してもよく、例えば石英の蓋とフッ素化合物樹脂製のOリングとを組み合わせてもよい。後述するようにコアロッド40には両端に支持部材41a、41bを融着接続しておくのが好ましい。

- 10 コアロッドの径Dとコア部分の径dの比 D/d に合わせてクラッドパイプの内径d2と外径D2の比 $D2/d2$ を決定し、所望の構造および特性の光ファイバが得られるコアロッドとクラッドパイプとを組み合わせる。コアロッドとクラッドパイプとの間の隙間は0.05mmないし3mmが好ましい。パイプの内径とロッドの径との差でいうと0.1mm以上である。ロッドをパイプに挿入するとき
- 15 にあまりに隙間が小さいロッドとパイプがこすれて傷がつくことがある。隙間が大きすぎる場合には、両者の融着一体化が不均一になりやすい。

- 20 コアロッドとクラッドパイプの間の隙間が大きい場合やコアロッドが極端に細い場合は、コアロッドを2本に分けてもよい。この場合、コアロッド同士は機械的に接触させる。こうすることで、コアロッドの偏在や撓みによるコアの偏心を抑えることができる。コアロッドのつなぎ目の部分は線引中または線引後に廃却する。

<乾燥気体>

- 25 乾燥気体は、水素分子、あるいは水素原子を含む化合物（例えば H_2 、 H_2O や CH_3OH ）の濃度の合計が10体積ppm以下の気体であり、望ましくは4体積ppm以下の気体であり、特に望ましくは1体積ppm以下の気体であり、最も望ましくは1体積ppb以下の気体である。化合物が水分の場合には、その水分濃度は露点として測定することができ、その場合、10体積ppmでは $-60^{\circ}C$ 、4体積ppmでは $-67^{\circ}C$ 、1体積ppmでは $-76^{\circ}C$ 、1体積ppbでは -1

12℃に相当する。ここでの露点は大気圧基準で測定したものである。ガス種としてはHe、Ar等の不活性ガス、N₂、O₂ガスや、Cl₂、フッ素等のハロゲンガス、SOCl₂、SiF₄等のハロゲン原子を含むガスも使用可能である。さらにはSiCl₄、GeCl₄、POCl₃、PCl₃、BCl₃、BBr₃等のガス
5 も使用可能である。

<コア固定>

コアロッドは支持パイプ内にあらかじめ入れられた固定治具44に挟んで固定する。固定治具44に挟まれる部分からは所望の特性を有する光ファイバ(良品)
10 を得ることができないので、固定治具44に挟まれる部分を単にコアロッドを支持するための支持部材とするとコアロッドを無駄に使うことがない。したがってコアロッドの両端には支持部材を接続するのが好ましい。クラッドパイプの端を封止する場合には、クラッドパイプをコラプスしてコアロッドに一体化させるとコラプスした部分のクラッドパイプおよびコアロッドからは良品が得られ
15 ないので、クラッドパイプに接続した支持パイプをコラプスしてコアロッドに接続した支持部材と一体化させるのが、クラッドパイプおよびコアロッドを無駄にしない点で好ましい。

以下では、コアロッドに支持部材41a、41bを融着接続して、支持部材を固定治具で挟む場合について説明する。固定治具は例えば図10に示すような溝
20 45を付けた環46がある。環の外径を支持パイプの内径よりやや大きめとし、環46の内径を支持部材の外径よりもやや小さめとする。環46を弾性材で形成すれば、環46を支持パイプ内に押し入れて支持部材を環46に押し込むことにより支持部材を環46を介して支持パイプに固定できる。こうしてコアロッド40がクラッドパイプ10b内に固定される。コアロッドを固定した状態であつても乾燥気体は溝45を
25 通って環46の上下を流通できる。

コアロッド40をクラッドパイプの下から入れる場合は、図11に示すように、上側の支持パイプ11b内に固定治具44を入れ、ここに支持部材41bを押し込んでコアロッド40の上端を固定する。固定治具44を使用することでコアロッド40をクラッドパイプ10bの中心に固定することができ、線引した後の光

ファイバの非円率または偏心率を小さくできる。2カ所以上で支持部材 4 1 b を把持することが望ましい。支持部材 4 1 a の下端にはあらかじめ固定治具 4 4 を付けておき、固定治具 4 4 ごと下側の支持パイプ 1 1 c 内に押し込み、支持部材 4 1 a の下に支持棒 4 8 を置き、蓋 4 7 a を下側支持パイプ 1 1 c の下端に取り
5 付ける。コアロッド 4 0 は支持パイプ 1 1 b、支持パイプ 1 1 c に固定されてパイプ内に吊され、かつ支持棒 4 8 を介して蓋 4 7 a により下端が支えられる。蓋 4 7 a にはガスの供給または排出が可能な配管 4 9 を取り付ける。蓋 4 7 a で支持パイプ 1 1 c を密閉する。

固定治具を用いる代わりに、支持パイプまたはクラッドパイプの端部を加熱して縮径させてコアロッドを把持することも可能である。このとき、縮径箇所の上
10 下にガスが流れることができる隙間ができるように支持パイプないしクラッドパイプを縮径させる。支持パイプまたはクラッドパイプの端部の肉厚を薄くして縮径しやすくすることも可能である。図 1 2 に示す例では、支持部材 4 1 b を支持パイプ 1 1 b よりも上に出して、そこを把持手段 5 0 で把持してコアロッド 4 0
15 を固定する。この場合、配管 4 2 と支持部材 4 1 b とが干渉しないようにする。支持部材 4 1 b と蓋 4 7 b との間はできるだけ隙間をなくす。特に、クラッドパイプ 1 0 b 内に SF_6 や Cl_2 などの有毒なガスを流す場合は支持部材 4 1 b と蓋 4 7 b との間にシール材を充填する等して気密に保つ。

コアロッドを挿入する以降、線引が終了するまで、クラッドパイプ内部に大気
20 中の水分、水素分子、あるいは水素原子を含む化合物が混入しないようにコアロッドとクラッドパイプとの間の隙間は常に乾燥気体雰囲気とするか、減圧雰囲気とするか、あるいは乾燥気体雰囲気としながら減圧雰囲気とする。クラッドパイプ内部を乾燥気体雰囲気に保つ方法としては、クラッドパイプ内部をこれらのガスで置換した後密閉する方法またはクラッドパイプ一端より継続的に乾燥気体を
25 流入させつつ、他端側から排出させる方法がある。後者の方法では、図 1 1、図 1 2 に示すように、配管 4 2 から乾燥ガスを供給し、配管 4 9 からクラッドパイプ 1 0 b 内のガスを排出する。乾燥ガスを吹き流している状態では蓋 4 7 a は気密になるように支持パイプ 1 1 c に取り付ける必要はない。

<ベーキング>

コアロッドをクラッドパイプに挿入、固定した後、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および／または減圧しながら、パイプおよびコアロッドを加熱してパイプ内表面およびコアロッド表面に付着している水素分子、あるいは水素原子を含む化合物を除去する（以下、この処理を脱水素処理という。）。例えば隙間を乾燥気体流路と連結して乾燥気体を隙間に導入しながらコアロッドとクラッドパイプを加熱する。あるいは隙間の気体を排気して隙間を減圧にしながらコアロッドとクラッドパイプを加熱する。あるいは隙間に乾燥気体を導入しながら同時に隙間の気体を排気して隙間を減圧にしながらコアロッドとクラッドパイプを加熱する。この脱水素処理のための加熱工程をベーキング工程という。コアロッド表面およびクラッドパイプ内表面をベーキング工程で脱水素処理することにより、その後ロッドイン線引して得られた光ファイバのロッドインによる界面付近のOH基濃度を低減し、OH基による伝送損失が従来のロッドイン線引では得ることができなかった低い値である光ファイバを得ることができる。

以下では乾燥気体雰囲気を導入しながら加熱処理する場合の例について説明する。図11、図12に示すように、配管42から乾燥気体を供給し、配管49からクラッドパイプ10b内の気体を排出してクラッドパイプ内を上から下に流れるガスの流れを作る。ガスの流れの向きを逆にすることも可能である。ガスの流量は標準状態で毎分1リットル以上とするのが望ましい。クラッドパイプ内表面またはコアロッド表面の加熱温度は80℃ないし1000℃とする。1000℃を超える高温とすると、ロッド表面やパイプ内表面に物理的に付着している水分がガラスと反応してコアロッドやクラッドパイプに化学的に吸着したり、あるいはOH基となってガラスに結合してしまい、その後除去することが困難となることがある。加熱温度は800℃以下が望ましい。加熱温度を600℃以下とすればガラス表面でのOH基の生成がない。温度を550℃以下とすれば水分がガラス表面に化学的に吸着しない。一方、物理的に付着している水分を除去するには80℃以上で効果があり、150℃以上であれば短時間で除去可能であり、350℃以上であればさらに短時間で除去可能である。例えばクラッドパイプ内表面

を30分間以上450℃に保つ。乾燥気体は、窒素、酸素、ヘリウム、アルゴン等のガス、あるいはハロゲンガス、ハロゲン元素化合物ガスを含むものでもよい。

ベーキング中に乾燥ガスを供給する側の支持パイプを加熱して、乾燥ガスを支持パイプを通過する間に温めてからクラッドパイプ内に供給してもよい。この場合、パイプ内を通過するガスの流量を例えば1 s 1 m以上に設定し、下流側から大気が逆流しないようにするとよい。

加熱源にはバーナ、ヒータが使用可能である。水分をクラッドパイプ外面に与えないという点でヒータが望ましい。加熱範囲はクラッドパイプ全長とする。後に支持パイプをコラプスさせてコアロッドまたは支持部材と一体化させる場合は、支持パイプや支持部材の一体化される箇所より有効部側の部分をベーキング工程で脱水素処理してそれらに付着している水素分子または水素原子を含む化合物を減少させる。これによりロッドイン線引のときに一体化する部分にOH基が生成することがなく、OH基によって光の伝送損失増加が生じることがない。同じ理由で支持パイプと支持部材はそれぞれの表面から深さ10 μmまでのOH基濃度を1体積ppm以下としておけば、そこからの水素が光ファイバ中でOH基となって光の伝送損失増加の原因となることがない。

加熱源の長さが加熱範囲の長さよりも短い場合は、加熱源をクラッドパイプおよびコアロッドに対して相対的に移動させる。いずれを移動させてもよく、両方を速度を違えて移動させてもよい。加熱範囲とはほぼ同じ長さの加熱源を使用して、加熱範囲全体を同時に加熱することも可能である。

ベーキング工程において、クラッドパイプ10 b内を減圧雰囲気とする場合は、クラッドパイプ10 b内のガスの排気量を乾燥気体の供給量以上とする、あるいは、乾燥気体を供給せず、配管42または49からクラッドパイプ10 b内のガスを排気する。クラッドパイプ10 b内の圧力を60 kPa以下とするのが望ましい。クラッドパイプ内を排気することにより、クラッドパイプ内表面やコアロッド表面から脱離させた水分がクラッドパイプ内から除去されるので、水分の脱離効果が増す。また、一旦クラッドパイプやコアロッドから脱離した水分がパイプやロッドに再度付着することもない。ベーキング工程は固定治具等でコアロッド40をクラッドパイプ10 b内に固定する前に行うことも可能である。

ベーキング工程を加熱温度を違えて2回行う（第一副工程、第二副工程）とコアロッドおよびクラッドパイプの水分をさらに除去することができる。第一副工程では、前述したようにクラッドパイプ内表面またはコアロッド表面の温度を80℃以上1000℃以下、好ましくは150℃以上1000℃以下に加熱し、第二副工程では、第一副工程より高温に加熱するのが望ましい。第一副工程でのコアロッドとクラッドパイプとの間の隙間の雰囲気は前述の通りであるが、第二副工程では、コアロッドとクラッドパイプとの間の隙間をハロゲンガスまたはハロゲン化合物ガスを含む乾燥気体雰囲気とする。例えば、クラッドパイプ内に Cl_2 などの脱遷移金属性ガスを含む雰囲気ガスをクラッドパイプの一端から導入し、他端から除去しつつクラッドパイプ内を1000℃以上の温度とする。脱遷移金属性ガスには塩素、 $SOCl_2$ 等の塩素原子を含むガスが使用できる。ヘリウムやアルゴン等で脱遷移金属性ガスを希釈してもよい。加熱温度を1020℃以上とすると塩化ニッケルや塩化鉄の蒸気圧を1気圧以上とすることができ、コアロッド表面およびクラッドパイプ内表面近傍に化学的に結合している水分を除去する効果に加え、これらの遷移金属をも蒸発させて除去できる。例えばクラッドパイプ内表面を30分間以上、1020℃に保つ。

前述の気相エッチング工程、あるいは前述の内面平滑化工程の前に、クラッドパイプ内の間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、および／または減圧雰囲気に保ち、ベーキング処理と同様の処理を行ってもよい。これによりクラッドパイプ内表面を気相エッチングする際、エッチング用ガスと水分が反応して硫酸等の有毒物質が発生することを抑制できる。

<封止>

ベーキング工程によりコアロッド表面およびクラッドパイプ内表面の水分を除去した後、図13に示すように、下側の支持パイプ11cを線引炉51の加熱部52に向き合う位置にもってくる。このときクラッドパイプ10bを移動させてもよく、線引炉51を移動させてもよい。加熱部52を発熱させクラッドパイプ10bおよび支持パイプ11cを1800℃～2600℃に加熱してその一部を縮径させる。こうして図14aに示すようにコアロッド40とクラッドパイプ1

0 bを一体化してクラッドパイプ1 0 bの下端を封止する。あるいは、図1 4 bに要部を示すように支持パイプ1 1 cと支持部材4 1 aとを一体化してクラッドパイプ1 0 bの下端を封止する。クラッドパイプ1 0 bが封止されるまで配管4 2から乾燥気体をクラッドパイプ1 0 b内に供給し、配管4 9からクラッドパイプ1 0 b内のガスを排出する。隙間7 2において図1 2の上から下へ向けた乾燥気体の流れが生じる。乾燥気体には酸素、窒素、アルゴン、ヘリウム、塩素またはそれらの2種以上からなる混合ガスを使用できる。

蓋4 7 bと支持パイプ1 1 bとの接触部分には隙間7 2の気密を保つためにOリングなどのシール部材をあてる。しかし、隙間7 2を減圧するとどうしても蓋4 7 bと支持パイプ1 1 bとの間や蓋4 7 bと支持部材4 1 bの間から外気が隙間7 2に混入する。第一実施形態では、配管4 2から乾燥気体を隙間7 2に供給することにより、隙間7 2に混入する外気を少なくすることができ、かつ混入した外気を希釈して吹き流し、隙間7 2の露点を低く保つことができる。一方、特開平7-109141号広報の図4または図6に示された構成では、乾燥気体をコアロッドとクラッドパイプとの間の隙間に吹き流すことは不可能であり、減圧すると露点の高い外気が混入してしまい、結局、隙間の露点を低く保つことができず、コアロッドおよびクラッドパイプから得られる光ファイバのロッドイン界面のOH基は十分少なくなるらない。

配管4 2に流量計5 6や圧力計5 7を設置してクラッドパイプ1 0 b内のガスの流量や圧力を測定する。その結果によりクラッドパイプ1 0 bの下端が完全に封止されたかどうか判断できる。クラッドパイプ1 0 bを上から下に流れるガスの流量が急激に減少するか、クラッドパイプ1 0 b内の圧力が急激に上昇するとクラッドパイプの下端が完全に封止されたと判断できる。クラッドパイプの下端が封止されれば直ちにバルブ6 0を開けて配管5 9から隙間7 2の空気を排気する。クラッドパイプ1 0 bが封止されたときにクラッドパイプ1 0 b内の圧力が急に高くなってクラッドパイプ1 0 bが破裂することを防ぐためにバイパス配管5 4を設けてもよい。クラッドパイプ1 0 bの下端を封止しつつあるときはバイパス配管5 4に設置したバルブ5 5を開放し、クラッドパイプ1 0 bが完全に封止されても乾燥気体がバイパス配管5 4を通るようにする。

クラッドパイプ 10b の下端を封止するときコアロッド 40 の下部が加熱されて軟化するが、図 13 に示した例では、把持手段 50 で支持部材 41b を介してコアロッド 40 を固定しているのでコアロッド 40 の全荷重が下部の軟化した箇所

5 箇所に負荷されることがない。したがって、軟化部でコアロッドが変形することが抑制される。

前述したように、クラッドパイプの端を封止することはクラッドパイプそのものの端部をコアロッドと一体化することに限定されない。クラッドパイプに支持パイプを接続し、支持パイプをコアロッドに一体化することによってもクラッドパイプの端が封止される。コアロッドに支持部材を接続した場合は、クラッドパイプ

10 又は支持パイプと支持部材とを一体化させることによってもクラッドパイプの端が封止される。

線引工程では、一体化された部分から光ファイバの線引が開始される。線速および光ファイバの径が所定の値に達して安定した状態となるまでには、線引開始時点から或る程度の時間を要し、その間に線引された光ファイバは良品とはならず廃棄される。支持パイプと支持部材とを一体化すると、線引開始後一定の時間

15 に線引された廃棄される光ファイバは支持パイプおよび支持部材由来であり、クラッドパイプおよびコアロッドから線引された光ファイバの殆ど全てを良品とすることができ、歩留まりを向上させることができる。

クラッドパイプ、支持パイプ、コアロッド、および／または支持部材はそれらが一体化される部分にリンやゲルマニウムやフッ素を添加して融点を下げておく

20 と、一体化が容易である。

クラッドパイプの端部を封止した後数分から数十分間当該封止部分を加熱し続けると封止部分が非円しないので好ましい。クラッドパイプ、支持パイプ、コアロッドおよび／または支持部材を加熱源に対して相対的に回転させるとさらに非

25 円しにくいので好ましい。

<サイクルバージ>

クラッドパイプ 10b の一端を封止した後、クラッドパイプ 10b 内のサイクルバージを実施するとさらに脱水素処理できて好ましい。図 14 a に示すように、

配管 4 2 に設置したバルブ 5 8 を閉じて、配管 5 9 に設置したバルブ 6 0 を開き
配管 5 9 からクラッドパイプ 1 0 b 内を真空引きする。配管 5 9 に圧力計 5 7 を
設置しておき、クラッドパイプ 1 0 b 内の圧力を測定する。クラッドパイプ内の
圧力が 1 0 k P a 以下となればバルブ 6 0 を閉じて真空引きを停止し、バルブ 5
5 8 を開いてクラッドパイプ 1 0 b 内に乾燥気体を送り込み、クラッドパイプ 1 0
b 内の圧力が 5 0 k P a 以上となるまで乾燥気体で圧張りする。この真空引きか
ら圧張りまでの操作を繰り返し、クラッドパイプ 1 0 b 内を乾燥気体雰囲気とす
る。

真空引きは 1 k P a 以下となるまで行うことが望ましく、圧張りは 1 0 0 k P
10 a 以上となるまで行うことが望ましい。サイクルパージを行うことでベーキング
時に除去し切れなかった水素分子、あるいは水素原子を含む化合物あるいはベー
キング後にロッドまたはパイプに付着した水素分子、あるいは水素原子を含む化
合物、例えば水分を除去できる。

15 <ロッドイン線引>

クラッドパイプ 1 0 b が封止されたら、下側の支持パイプ 1 1 c を線引炉 5 1
の外に引き出して、封止された部分から光ファイバを線引する。前述したような
クラッドパイプの一端のみを封止する場合は、線引工程においてクラッドパイプ
の他端を乾燥気体雰囲気と連結するか、クラッドパイプとコアロッドの間の隙間
20 の気体を他端から排気して減圧するか、あるいは乾燥気体雰囲気と連結しながら
同時に減圧する。

コアロッド 4 0 およびクラッドパイプ 1 0 b を線引炉 5 1 に送り込んでいきコ
アロッド表面を 5 0 0 °C ないし 1 8 0 0 °C に、クラッドパイプ外面を 1 3 0 0 °C
ないし 2 3 0 0 °C、望ましくは 1 3 0 0 °C ないし 2 1 0 0 °C、さらに望ましくは
25 1 4 0 0 °C ないし 2 1 0 0 °C に加熱してコアロッド 4 0 とクラッドパイプ 1 0 b
とを下から上へ一体化していき、一体化された部分から光ファイバを引き出して
いく。

ここで、コアロッドとクラッドパイプとの間の隙間を 1 0 k P a 以下に減圧す
る場合には、コアロッド表面を 5 0 0 °C ないし 1 3 0 0 °C に、クラッドパイプ外

面を1000℃ないし1800℃に加熱する。隙間を減圧しないあるいは僅かにしか減圧しない場合は、コアロッド表面を1000℃ないし1800℃に、クラッドパイプ外面を1500℃ないし2100℃に加熱する。こうしてコアロッド40とクラッドパイプ10bから光ファイバがロッドイン線引される。クラッドパイプ10bおよびコアロッド40をその軸を中心に回転させることも可能である。

線引炉の入口にはガス供給部53を設けて、クラッドパイプに向けて窒素やヘリウム等の不活性ガスを吹き付けて、線引炉51の上部から線引炉51内に線引炉外のガスが混入しないようにガスシールする。ガス供給部53からの矢印はガスの流れを表す。

線引された光ファイバが所定の径まで細くなったら、光ファイバを切断して支持パイプ11cおよびそれに接続していた蓋47aや配管49をクラッドパイプ10bから切り離し、図15に示すように光ファイバ61を冷却装置62、外径測定装置63、樹脂塗布装置64および樹脂硬化装置65に通し、ガイドローラ66、引取装置67、蓄線部68からなるパスラインにかけ、引取装置67で光ファイバを引き取って巻取機69で巻き取っていく。

コアロッドとクラッドパイプとが一体化した部分を1800ないし2400℃に加熱して光ファイバを線引する。図16には、加熱部を2段(52a、52b)に分け、上段の加熱部52aではコアロッド40表面を500ないし1800℃に加熱してコアロッド40とクラッドパイプ10bとを一体化させ、下段の加熱部52bではコアとクラッドとが一体化した部分を1800ないし2400℃に加熱して光ファイバを線引する例を示す。コアロッド40とクラッドパイプ10bとを一体化させる際の温度は、コアロッド40とクラッドパイプ10bとの間の隙間の減圧具合により調整することは前述の通りである。一方、コアとクラッドとが一体化した部分を線引する温度は隙間の減圧具合によらない。そこで、上段の加熱部52aでは一体化の温度を調整し、かつ下段の加熱部52bでは上段よりも高温に加熱することにより線引速度を高速にすることができる。加熱方式は抵抗加熱、誘導加熱いずれも可能である。

ロッドイン線引時に、コアロッド40とクラッドパイプ10bの間の隙間72

を乾燥気体雰囲気と連結することは、配管 42 により図示しない外部の乾燥気体供給源と連結されることによりなされる。酸素、窒素、アルゴン、ヘリウム、塩素またはそれらの 2 種以上からなる混合ガスである乾燥気体が配管 42 から隙間 72 に供給される。隙間 72 を減圧することは配管 59 から隙間 72 の気体を排気することによりなされる。コアロッド 40 とクラッドパイプ 10 b の間の隙間を乾燥気体流路である配管 42 に連結し乾燥気体を供給しつつ、コアロッド 40 とクラッドパイプ 10 b の間の隙間 72 のガスを配管 59 から排気してコアロッド 40 とクラッドパイプ 10 b の間の隙間 72 を減圧することが好ましい。この減圧具合は、隙間 72 の圧力を 10 kPa 以下にすると望ましい。さらに望ましくは 4 kPa 以下、さらに望ましくは 1 kPa 以下、最も望ましくは 0.1 kPa 以下に減圧する。コアロッド 40 とクラッドパイプ 10 b の間の隙間を乾燥雰囲気と連結することにより乾燥気体を供給しつつ大気中の水分を巻き込むことを防止して線引することができる。コアロッド 40 とクラッドパイプ 10 b の間の隙間を減圧することでクラッドパイプ 10 b 内のガスの量を減らし、水素分子、あるいは水素原子を含む化合物ガスが混入していたとしてもその量を減らすことができる。

クラッドパイプ内を減圧することで、コアロッドとクラッドパイプとを低温で一体化することができる。加熱温度を低温とすればコアに伝わる熱量を少なくできる。クラッドパイプ内を 10 kPa 以下に減圧する場合は、コアロッドの表面は前述したように 500 ないし 1300℃に加熱し、クラッドパイプ外面は 1300 ないし 1800℃に加熱する。この範囲の温度では、コアロッドやクラッドパイプが軟化して自重で垂れて変形することがない。したがって得られる光ファイバは偏心や非円が小さく、コア径に対するクラッド外径の比が長さ方向に一定に保たれ、カットオフ波長や分散等の特性の変動が少ない。

また、隙間 72 の圧力を 4 kPa 以下に減圧すると肉厚のクラッドパイプであっても潰れやすく必要以上に線引炉の温度を上げなくてよい。したがって、エネルギーの無駄がない。また、線速や張力などの線引条件の設定の自由度も増す。

図 17 に示されている第二実施形態では、コアロッド表面とクラッドパイプ内

表面を脱水素処理しながら光ファイバを線引する。図17においてカッコを付した工程は省略可能な工程である。コアロッドをクラッドパイプ内に挿入して、それぞれを固定するところまでは第一実施形態と同じである。次に、クラッドパイプの少なくとも一端を封止した後、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間のサイクルパージを行う。これら二つの工程も第一実施形態と同じである。次いで、5 コアロッドとクラッドパイプを線引炉上方に移動させる。このとき、封止によりコアロッドとクラッドパイプが一体化した部分が加熱部中心部より上方に位置するようにする。両者が一体化した部分の直近にある未だ一体化していない部分におけるクラッドパイプ内表面の温度が80℃ないし150℃程度になる位置まで10 移動する。線引炉51の加熱部52の温度を一時的に下げてもよい。このときコアロッドとクラッドパイプの間の隙間は乾燥気体雰囲気と連結させた状態を保つ。

次に、コアロッドおよびクラッドパイプを徐々に線引炉下方に向かって移動させる。加熱部52の温度を一時的に下げたときは、温度を上昇させる。コアロッドおよびクラッドパイプの移動に従い、一体化していない部分のコアロッド表面15 とクラッドパイプ内表面の温度は徐々に上昇する。このとき、コアロッドとクラッドパイプが一体化した部分の直近にある未だ両者が一体化していない部分では、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間は乾燥気体雰囲気と連結されている。あるいはコアロッドとクラッドパイプの間の隙間は乾燥気体雰囲気と連結されると同時に、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間の気体が排気され減圧されている。その状態でコアロッド表面とクラッドパイプ内表面は80℃ないし1000℃、好ましくは温度150℃ないし1000℃で加熱されることから、コアロッド表面とクラッドパイプ内表面のベーキングが行われる。その後コアロッドおよびクラッドパイプを徐々に線引炉下方に向かって移動させる。コアロッドおよびクラッドパイプの移動に応じてベーキングされる部分が徐々にコアロッドおよびクラッドパイプの上側に移動していく。25

コアロッドとクラッドパイプが一体化した部分が線引炉加熱部中心部付近まで達したら、一旦コアロッドおよびクラッドパイプの移動を停止する。その位置で保持してコアロッドおよびクラッドパイプが一体化した部分の温度を上昇させる。一体化した部分のクラッドパイプ外面の温度が1300℃ないし2100℃まで

- 上昇したら、一体化した部分から光ファイバを引き出していく。以降の工程は第一実施形態と同様に行う。光ファイバが継続的に引き出されるのに応じ、コアロッドとクラッドパイプも継続的に線引炉上方より下方に導入する。これにより一体化していない部分のコアロッド表面とクラッドパイプ内表面が加熱される部分
- 5 は一体化した部分から他方の端に向かって徐々に移動していく。コアロッドとクラッドパイプの間の隙間は乾燥気体雰囲気と連結されている。同時にコアロッドとクラッドパイプの一体化は上方に向かって進行する。これによりコアロッド表面とクラッドパイプ内表面のベーキングを継続的に行いつつ、光ファイバを線引する。これらは減圧しながら行うことも可能である。
- 10 第二実施形態では、図18に示すような2段以上からなる加熱部が有効である。一体化した部分を加熱して線引するための下段の加熱部52bは1800℃ないし2400℃に加熱し、まだ一体化していないクラッドパイプおよびコアロッドに対向する部分に配置される上段の加熱部52aの温度を80℃ないし1000℃とすると、加熱部52aにより加熱されるクラッドパイプ内表面およびコア
- 15 ロッド表面に物理的に付着している水分を除去することが確実にできる。

前述の方法とは別に、クラッドパイプの両端を封止してクラッドパイプ内を密封した状態で光ファイバのロッドイン線引を行う第三実施形態もある

- クラッドパイプの両端を封止する場合は、一端を封止した後、クラッドパイプ
- 20 とコアロッドの間の隙間の気体をクラッドパイプの他端から排気して隙間を減圧して他端を封止する。これによりクラッドパイプとコアロッドとの間が隙間となっておりその隙間が減圧状態となった光ファイバ母材を得ることができる。隙間の圧力をどのくらい減圧するかは、両端を封止した時点の隙間の体積による。隙間はロッドイン線引が進行すると小さくなり、その圧力は大きくなっていく。線
- 25 引終了時に隙間に存在する気体が大気圧以上とならないように隙間を減圧する。例えば1kPa以下まで減圧する。この光ファイバ母材を線引するときには、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間は減圧されている。

クラッドパイプの端を封止するときには、一端のみを封止する場合および両端を封止する場合のいずれであっても、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を

乾燥気体雰囲気と連結し、かつ減圧することにより隙間の露点を下げることができる。したがって、コアロッド表面またはクラッドパイプ内表面にOH基が生成することを防ぐことができ、ロッドイン線引して得られる光ファイバのOH基に由来する伝送損失を小さくすることができる。

5 両端を閉じたクラッドパイプとその中に閉じこめられたコアロッドからなる光ファイバ母材は、従来の中実の光ファイバ母材と同様に取り扱うことができる。第三実施形態では、ベーキング工程およびクラッドパイプの両端の封止までを線引装置とは別の設備で実行し、得られた光ファイバ母材を従来と同様の線引装置で線引することができる。既存設備を活用するという点で有効な方法である。

10 第三実施形態におけるクラッドパイプの封止は、クラッドパイプの両端を封止するだけである。従来のロッドインコラプスとは違ってクラッドパイプ全長にわたってコラプスしないので、その分の工程に要する時間、設備および運転費用が省略でき、低コストで光ファイバを製造できる。

15 図19を参照して第三実施形態のフローを説明する。図19においてカッコを付した工程は省略することが可能な工程である。

20 ベーキング工程によりコアロッド表面およびクラッドパイプ内表面を脱水素処理した後にクラッドパイプの一端を封止することまでは第一実施形態と同様である。ただし、ベーキング工程とクラッドパイプの封止とは、線引装置以外のベーキング工程が実行できる加熱装置に取り付けて行ってもよい。また、加熱装置は図12に示したようなコアロッドとクラッドパイプとを縦に取り付けるものに限らず、横に取り付けるものであってもよい。

25 クラッドパイプの一端を封止した後のサイクルパージ工程も第一実施形態と同様である。隙間の気体を排気して圧力が1 kPa以下になるまで排気した後にクラッドパイプの他端を封止する。両端を封止した光ファイバ母材を加熱してロッドイン線引する。

クラッドパイプの一端を封止した後の工程を図20を参照して具体的に説明する。バルブ60を開いて配管59から隙間72の気体を排気する。圧力計57により隙間72の圧力を監視し、その圧力が1 kPa以下になるまで隙間72の気体を排気する。一旦、隙間72の圧力を1 kPa以下とした後、第一実施形態と

同様にサイクルパーズを行って、隙間 7 2 の圧張りと言真空引きとを繰り返してもよい。

隙間 7 2 の気体を排気し続けてその圧力を 1 k P a 以下とした状態で、図 2 1 に示すように加熱源 7 3 をクラッドパイプ 1 0 b の上端または支持パイプ 1 1 d の横に位置させて、クラッドパイプ 1 0 b の上端または支持パイプ 1 1 d をコラ
5 プスさせてコアロッド 4 0 または支持部材 4 1 b と一体化させる。図 2 1 に示したように、支持パイプ 1 1 d を支持部材 4 1 b と一体化させ、コアロッド 4 0 およびクラッドパイプ 1 0 b を全長有効に使用するのが好ましい。

クラッドパイプの両端の封止が完了すれば、排気を終了し、支持パイプから蓋
10 4 7 a、4 7 b や各配管を取り外す。

得られた光ファイバ母材の線引を開始する側の支持パイプおよび支持部材を、一体化された箇所より外側で切断するかまたは支持パイプおよび支持部材を加熱して引きちぎる。切断したまたは引きちぎった末端を線引を開始するのに適した
15 形状にさらに整えるのが好ましい。前述したように、光ファイバの線引開始からしばらくの間に線引された光ファイバは良品とならないので、その間に線引される光ファイバが支持パイプと支持部材から引かれたものとなる程度の支持パイプと支持部材とを線引開始端に残すのが好ましい。

図 2 2 に示すように、支持パイプ 1 1 d に接続された延長部材 7 4 を把持手段 7 5 により把持して光ファイバ母材 1 0 0 を線引開始端から線引炉 5 1 に入れる。
20 あるいは、延長部材を使用せず支持パイプ 1 1 d を把持手段 7 5 により直接把持してもよい。把持手段 7 5 は母材送り装置 7 6 に連結される。

図 2 3 に示すように、線引炉 5 1 の加熱部 5 2 を加熱してクラッドパイプ 1 0 b の下端をコラプスしてコアロッド 4 0 と一体化させつつ、引き取り手段 6 7 で光ファイバ母材 1 0 0 の下端から光ファイバ 6 1 を線引する。クラッドパイプを
25 コラプスさせて一体化させることは第一実施形態と同様であり、線引炉の加熱部の熱分布の付け方も第一実施形態と同様である。コアロッドとクラッドパイプの間の隙間 7 7 は 1 k P a 以下に減圧されて封じられているので、クラッドパイプ 1 0 b のコラプスも速やかである。

光ファイバ母材 1 0 0 の線引が進むにつれて隙間 7 7 は小さくなっていきその

圧力は高くなっていく。支持部材 4 1 b と支持パイプ 1 1 d とを一体化させると、光ファイバ母材 1 0 0 の有効部の線引が終了した時点の隙間 7 7 は、光ファイバ母材上端の非有効部部分の隙間および支持部材 4 1 b と支持パイプ 1 1 d との間の隙間となる。この線引終了時点の隙間が光ファイバ母材 1 0 0 の外部の圧力よりも低くなるようにクラッドパイプの上端を封止するときの隙間の圧力をあらかじめ算出して、クラッドパイプ上端の封止時に隙間 7 7 をその圧力とする。支持部材と支持パイプを一体化させる箇所をクラッドパイプ 1 0 b から離れた箇所として線引終了時の隙間を十分に確保するのもよい。

図 2 3 では線引炉 5 1 上に設けたガス供給部 5 3 から光ファイバ母材 1 0 0 に向けてガスを噴き出させて線引炉 5 1 内に炉外の気体が巻き込まれないガスシール方式を示したが、光ファイバ母材全体を収容室に収めて、支持パイプまたは延長部材の部分で炉内雰囲気と炉外雰囲気を分ける方式としてもよい。使用する加熱源によっては、必ずしも炉内雰囲気と炉外雰囲気に分ける必要はない。

母材送り装置 7 6 が下方に移動して光ファイバ母材 1 0 0 を線引炉 5 1 に送り込んでいく。光ファイバ母材 1 0 0 が線引炉 5 1 に送り込まれるにつれてクラッドパイプ 1 0 b とコアロッド 4 0 とが徐々に一体化され、同時に一体化された部分から引き取り手段 6 7 により光ファイバ 6 1 が引き取られる。線引炉 5 1 を出た光ファイバ 6 1 は第一実施形態と同様に、冷却装置 6 2、外径測定装置 6 3、樹脂塗布装置 6 4 および樹脂硬化装置 6 5 に通され、ガイドローラ 6 6、引取装置 6 7、蓄線部 6 8 からなるパスラインにかけられて、巻取機 6 9 により巻き取られる。

第三実施形態においては光ファイバ母材の線引時にコアロッドとクラッドパイプとの間の隙間の気体を排気するための配管や、隙間を乾燥気体雰囲気と連結するための配管が必要ない。したがって、光ファイバが母材送り装置によって線引炉に送り込まれるときに、それらの配管の取り回しの問題が生じず、光ファイバ母材の取り回しが容易である。また、従来使用していた中実の光ファイバ母材を線引する装置をそのまま使用することができる。

第一実施形態ないし第三実施形態で得られる光ファイバはロッドとパイプとが加熱一体化された境界を一つのみ有し、波長 1.38 μm の光の伝送損失を 0.

5 dB/km以下、さらには0.35 dB/km以下とすることができる。これらの値は、波長1.38 μm の光に対するOH基吸収損失約0.25 dB/km以下、あるいは約0.1 dB/km以下に相当する。境界は、コアの中心から境界までの距離 p_1 、コアの半径 r_1 の比 p_1/r_1 が、1以上2未満である領域内に存在する。

また偏波モード分散(PMD)は0.15 ps/km^{1/2}以下、さらには0.08 ps/km^{1/2}以下とすることができる。長さ方向の分散値変動の絶対値を2 ps/nm/km²以下、さらには0.5 ps/nm/km²とすることができる。コア偏心も0.3%以下である。

10

<コアロッド>

コアロッドの径 D とコア部分の径 d の比は $1 \leq D/d < 2$ とするのが好適であり、こうすると従来コアロッドの一部として合成していた光学クラッド部分の大半を、クラッドパイプとして合成するので、製造コストの低減および製造時間の短縮が実現される。コアロッドを火炎研磨する工程も省略できる。比 D/d が1以上1.4以下の範囲であればコアと同プロセスで合成する必要のある第一クラッドはせいぜいコアと同体積であり、生産性の面でより効果が顕著である。

15

コアロッドは、純シリカそのもの、純シリカに酸化ゲルマニウム(GeO_2)が添加されたもの、純シリカに P_2O_5 、 Al_2O_3 や TiO_2 、 Cl 等の屈折率を上昇させる添加剤が添加されたものがあげられる。

20

コアロッドの外周部分にクラッドパイプの内面部分の組成に近い光学的クラッドの一部を付けておくことで、コアロッドとクラッドパイプとを加熱するときにコアロッドまたはクラッドパイプの変形や界面に気泡が生じることを抑制することができ、伝送損失、PMD、あるいは分散特性(光ファイバの長手方向の分散値の変動)といった光学的特性が優れた光ファイバを製造することができる。

25

コアに GeO_2 等の添加剤を添加してクラッドを純シリカとする場合は、コアロッドに純シリカからなる光学的クラッドの一部を付けておくことにより、コアロッドとクラッドパイプとを加熱するときに、コアとクラッドとが同心を保って一体化される。したがって、コアが非円または偏心することを抑制できる。しかも、

コアロッドに存在する光学的クラッドは従来よりも少ないので製造コストは従来になく少ない。比 D/d が1.2以下であれば、 GeO_2 が添加されたガラス微粒子のみからなるガラス微粒子堆積体を製造し、それを脱水、透明化する際に、外周部分のゲルマニウムを拡散あるいは揮散させて光学的クラッドとすることもできる。

<クラッドパイプ>

クラッドパイプは、その内表面近傍の屈折率がコアロッドの第1クラッドの屈折率と実質的に等しければよく、純シリカにフッ素や B_2O_3 といった屈折率を下げる添加剤を添加したもの、純シリカそのもの、または純シリカに GeO_2 、 P_2O_5 、 Al_2O_3 や TiO_2 、 Cl 等の屈折率を上昇させる添加剤が添加されたものがあげられる。クラッドパイプの内表面面近傍の組成が第1クラッドと同じであればさらに好ましい。

15 <パイプ倍率>

クラッドパイプは、クラッドパイプの外径 D_2 と内径 d_2 との比 D_2/d_2 が、5以上、30以下、望ましくは7を超え30以下、より望ましくは、8以上、30以下であるものがよい。また外径は90mm以上であるものが望ましく、より望ましくは120mm以上、さらに望ましくは140mm以上がよい。あるいは長さ500mm以上であること、より望ましくは600mm以上がよい。このような大型のクラッドパイプを使うことで、一回の線引で得られる光ファイバが長くなり、より生産効率が向上する。クラッドパイプの外径と内径の比は、所望する光ファイバの構造に合わせて適宜調整する。

25 <偏心率>

コアロッドならびにクラッドパイプの偏心率は全長にわたって0.3%以下であることが望ましく、0.2%以下であることがより望ましい。ここで偏心率とは、第一クラッドを有するコアロッドの場合はコア部中心とコアロッド中心との位置ずれ量をコアロッド径で除した値である。クラッドパイプの場合はパイプの

- 内周の外周に対する偏心率であり、それはパイプ内径中心と外径中心との位置ずれ量を外径で除した値である。これにより最終的に得られる光ファイバのコア偏心量が低減することはもちろんのこと、コアロッドとクラッドパイプを一体化する際、軸に垂直な断面内での熔融状態の不均一性が低減され、気泡、コア非円の発生を抑制し、得られる光ファイバの伝送特性を良好なものとする事ができる。

＜パイプ非円＞

- コアロッドのコアおよび第一クラッドの非円率、ならびにクラッドパイプの外径および内径の非円率がそれぞれ1.5%以下のものを使用するのが望ましい。
- さらに望ましくは0.5%以下、さらに望ましくは0.2%以下であるものを使用する。非円率が小さなコアロッドまたはクラッドパイプをロッドイン線引することで、できあがった光ファイバのコアの非円率の悪化や複屈折率の増加を抑制でき、PMDを低減できる。例えば、 $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下とできる。またコアロッドとクラッドパイプを一体化する際に、軸に垂直な断面内での熔融状態の不均一性が低減され、コアロッドとクラッドパイプの一体化が均一に進み、気泡の発生を抑制することができる。したがって、得られる光ファイバの伝送特性を良好なものとする事ができる。また、できあがった光ファイバのクラッドの偏肉率が小さい、すなわちコアが偏心していないので、当該光ファイバの接続による損失が小さい。コアロッドおよびクラッドパイプとも非円率および偏心率の小さなものを組み合わせるとさらに効果が大きい。

- コアロッドの表面粗さおよびクラッドパイプの内表面粗さは、ともに $20 \mu\text{m}$ 以下のものを使用するのが望ましい。これによりコアロッドとクラッドパイプを一体化するとき、溶着される両者の表面粗さがともに小さいため、気泡発生抑制に効果がある。これにより線引時に断線することや径変動が発生することを低減できる。また、得られる光ファイバの伝送損失を小さくできる。ロッドやパイプを抵抗加熱炉や誘導加熱炉等の加熱手段を用いて所定の径に延伸することや、モル濃度が0.1重量%から50重量%のフッ化水素水溶液に1時間以上漬し表面の不純物汚染層を除去することを行えば表面粗さを小さくできる。

コアロッドのOH基濃度は20重量ppm以下が望ましい。さらに望ましくは

- 1 0 重量 ppm 以下、さらに望ましくは 2 重量 ppm 以下、さらに望ましくは 1 重量 ppm 以下、最も望ましくは 0.1 ppm 以下である。クラッドパイプでは、光ファイバになったときにモードフィールド径に含まれる部分の OH 基濃度は 2 0 重量 ppm 以下が望ましい。さらに望ましくは 2 重量 ppm 以下、さらに望ま
- 5 しくは 1 0 重量 ppm 以下、さらに望ましくは 1 重量 ppm 以下がよい。もともと OH 基濃度が低いコアロッドおよびクラッドパイプを使用することで、OH 基による光の吸収損失が小さな光ファイバが得られる。コアとクラッドの間の界面の部分の OH 基濃度が 0.05 ppm であれば、OH 基による光の吸収損失は 0.5 dB である。
- 10 前述の例のように、細いコアロッドと厚肉のクラッドパイプとの加熱一体化に際しては、クラッドパイプに比べ遥かに熱容量が小さいコアロッドのほうが変形しやすい。そのためクラッドパイプの平均粘度に対し、コアロッドの平均粘度が同じかより大きいほうが望ましい。一体化の際のコアロッドの変形を防止しやすいためである。これにより、得られる光ファイバのコア非円やコア偏心、気泡、
- 15 等が発生しにくい。ここで基準にすべき粘度の値は両者を熔融一体化する温度領域における各々の粘度を代表する値であり、この温度領域は石英系ガラスの場合には、通常 1000℃ から 2400℃ の温度範囲である。ここでは 1200℃ での値を代表値として考える。
- 前述のような粘度の組み合わせを達成するコア、クラッドを構成するガラスと
- 20 しては以下のものがあげられる。すなわちコアを構成するガラスとしては、純石英ガラスあるいはフッ素、Cl 等のハロゲン原子、 GeO_2 、 B_2O_3 、 P_2O_5 、 Al_2O_3 等の金属酸化物を一種類以上含む石英ガラスが望ましい。クラッドを構成するガラスとしては、フッ素添加石英ガラスあるいはフッ素以外の他のハロゲン原子、 GeO_2 、 B_2O_3 、 P_2O_5 、 Al_2O_3 等の金属酸化物を一種類以上含むフ
- 25 ッ素添加石英ガラスが望ましい。特に望ましくは、コアが Cl 原子を含む石英ガラスあるいは Cl 原子とフッ素原子を含む石英ガラス、クラッドがフッ素添加石英ガラスあるいは Cl 原子を含むフッ素添加石英ガラスであること、またはコアが GeO_2 を含む石英ガラスあるいは GeO_2 と Cl 原子を含む石英ガラス、クラッドがフッ素添加石英ガラスあるいは Cl 原子を含むフッ素添加石英ガラスであ

る。例えば、コアが石英ガラスに約1000重量ppmのCl原子を含み、クラッドがフッ素原子を約1重量%含む石英ガラスであれば、前述したコアとクラッドの粘度の関係を満足するとともに、コアとクラッドとの比屈折率差が約0.34%のものが得られる。の例に限らず、これら添加物の種類、量は、所定の粘度、
5 コアとクラッドとの所定の屈折率差が得られるよう、適宜選択調整する。

<屈折率プロファイル>

光ファイバの屈折率プロファイルには特に制限がない。分散シフトファイバや分散補償ファイバなどのように複雑な屈折率プロファイルを有するコアロッドも
10 使用可能である。単純なステップ型の屈折率プロファイルをもつシングルモード光ファイバを得る場合は、クラッドに対するコアの比屈折率差は0.2%以上であれば、標準的なシングルモード光ファイバを形成することができる。

コアに相当する部分の周囲に第一クラッドを有するコアロッドを使用する場合は、クラッドパイプにおける内面から少なくともクラッドパイプの厚みの1/1
15 0までの部分の屈折率と、第一クラッド部の屈折率が実質的に等しいことが望ましい。これは両者の比屈折率差が-0.05%以上、+0.05%以下、より望ましくは-0.02%以上、+0.02%以下である、ということである。これによりカットオフ波長や分散等の特性の変動が少ない光ファイバが得られる。

第一クラッドを有するコアロッドの場合は、第一クラッドとその外周に形成されるクラッドとの屈折率が所定の範囲内となるように、それぞれに含まれる屈折率を調整するための添加材の種類や濃度を調整する。この場合の調整とは何も添加しないことを含む。第一クラッドを含むクラッド部分には異なる屈折率をもつ複数の領域を有していてもよい。また前述の例では、シングルモード光ファイバの場合を中心に説明したが、本発明はマルチモード光ファイバの場合にも適用可
25 能であり、伝送損失を低減する同様の効果が得られる。

実施例

第3実施形態に従い、表Iに示す条件でロッドイン線引により光ファイバを製造した（実施例1～4）。具体的には、クラッドパイプをフッ化水素水溶液に浸漬

- して洗浄し、クラッドパイプと支持パイプとを接続し、クラッドパイプ内表面を気相エッチングし、クラッドパイプ内表面を塩素処理した。その後、クラッドパイプにコアロッドを挿入した。その後、コアロッドとクラッドパイプの間の隙間を露点 T_d °C に保った状態でコアロッド表面とクラッドパイプ内表面とをパイプ内表面温度 T_b に加熱しベーキング処理した。ベーキング工程の第二副工程では乾燥塩素ガスを流した。その後、クラッドパイプの下端（ガス流に対して下流側）を封止し、続けてクラッドパイプ内を圧力 P kPa に保って上端（ガス流に対して上流側）を封止して光ファイバ母材とし、光ファイバ母材の外面を火炎研磨した。その後、この光ファイバ母材を線引して光ファイバを製造した。なお、実施例 2 ではコアロッドを 2 本に分け、ガス流に対して下流側のクラッドパイプの端からコアロッドをクラッドパイプに挿入した。

表 I

実施例	1	2	3	4
支持パイプ外径 mm	100	40	125	40
支持パイプ長さ mm	1500	1500	1500	1500
クラッドパイプ外径 mm	150	70	250	36
クラッドパイプ長さ mm	700	2500	300	2000
コアロッド径 mm	10	4.5	16	2.4
コアロッド長さ mm	700	1300+1300	400	2100
ベーキング温度 T_b °C	450	400	350	500
ベーキング時間 時間	1	2	4	0.5
露点 T_d °C	-88	-80	-59	-85
圧力 P kPa	0.1	3.2	0.01	3.6
上流側封止後の待機時間 分	30	10	60	15

- 条件 1、2 または 4 で製造した光ファイバは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ の光の伝送損失を 0.1 dB/km 以下とすることができた。条件 3 で製造した光ファイバは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ の光の伝送損失が 1.2 dB/km となり 0.5 dB/km よりも大きくなった。この原因はベーキング工程で使用した乾燥ガスの露点が高かったことにあると考えられる。

日本特許出願 2003-139732 (2003 年 5 月 19 日出願)、および、2003-139733 (2003 年 5 月 19 日出願) の明細書、クレーム、図面、要約書を含むすべての開示は、本明細書に統合される。

5 産業上の利用可能性

伝送損失の小さい光ファイバを、生産性良く小さいコストで製造することができる。

請求の範囲

1. コアロッドをクラッドパイプに挿入し、加熱一体化しつつ線引することを
含む光ファイバの製造方法であって、
 - 5 前記コアロッドを前記クラッドパイプ内に挿入する工程、
前記コアロッド表面と前記クラッドパイプ内表面の水分を除去する工程、
前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程、および、
前記コアロッドと前記クラッドパイプの間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しな
がら、および／または減圧した状態で、前記一端から線引して光ファイバとする
10 工程、
を有する光ファイバの製造方法。
 2. 請求の範囲第1項記載の光ファイバの製造方法において、
前記水分を除去する工程では、前記隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、お
よび／または減圧しながら、前記コアロッドと前記クラッドパイプを加熱する光
15 ファイバの製造方法。
 3. 請求の範囲第1項または第2項記載の光ファイバの製造方法において、
前記水分を除去する工程は、前記隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら、およ
び／または減圧しながら、前記コアロッドと前記クラッドパイプを加熱する第一
副工程と、前記隙間をハロゲンガスまたはハロゲン化合物ガスを含む乾燥気体雰
20 囲気に保ちながら前記コアロッドと前記クラッドパイプを加熱する第二副工程を
含む光ファイバの製造方法。
 4. 請求の範囲第1項ないし第3項のいずれか一項記載の一つの光ファイバの
製造方法において、
前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程が、前記クラッドパイプ
25 の一端を封止し、さらに前記隙間を減圧しながら前記クラッドパイプの他端を封
止する工程である光ファイバの製造方法。
 5. コアロッドをクラッドパイプに挿入し、加熱一体化しつつ線引することを
含む光ファイバの製造方法であって、
前記コアロッドを前記クラッドパイプ内に挿入する工程、

前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程、および、

前記コアロッドと前記クラッドパイプの間の隙間を乾燥気体雰囲気と連結しながら前記コアロッドと前記クラッドパイプを加熱して、前記コアロッド表面と前記クラッドパイプ内表面に付着する水分を除去しつつ前記一端から光ファイバを線引する工程、

を有する光ファイバの製造方法。

6. 請求の範囲第1項ないし第5項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程では、前記隙間を乾燥気体雰囲気と連結し、かつ減圧する光ファイバの製造方法。

7. 請求の範囲第1項ないし第6項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程は、前記コアロッドと前記クラッドパイプとを前記一端において一体化する工程を含む光ファイバの製造方法。

8. 請求の範囲第1項ないし第6項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

前記コアロッドの端に支持部材を接続する工程をさらに有し、

前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程は、前記支持部材と前記クラッドパイプとを前記端部において一体化させる工程を含む光ファイバの製造方法。

9. 請求の範囲第1項ないし第6項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

前記クラッドパイプの端に支持パイプを接続する工程をさらに有し、

前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程は、前記コアロッドと前記支持パイプとを一体化させることにより前記一端を封止する光ファイバの製造方法。

10. 請求の範囲第1項ないし第6項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

- 前記コアロッドの端に支持部材を接続する工程、および、
前記クラッドパイプの端に支持パイプを接続する工程をさらに有し、
前記クラッドパイプの少なくとも一端を封止する工程は、前記支持部材と前記支持パイプとを一体化させることにより前記一端を封止する光ファイバの製造方法。

- 5 11. 請求の範囲第1項ないし第10項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、
前記乾燥気体中の水素分子、あるいは水素原子を含む化合物の濃度の合計は10体積ppm以下である光ファイバの製造方法。
- 10 12. 請求の範囲第1項ないし第11項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、
前記挿入する工程の前に、前記クラッドパイプを加熱する工程をさらに有する光ファイバの製造方法。
- 15 13. 請求の範囲第1項ないし第12項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、
コアロッドの径Dとコア部分の径dの比 D/d は1以上2未満である光ファイバの製造方法。
- 20 14. 請求の範囲第13項の光ファイバの製造方法において、
前記コアロッドは、前記コア部分のみからなる光ファイバの製造方法。
- 15 15. 請求の範囲第14項の光ファイバの製造方法において、
前記クラッドパイプに対する前記コアロッドの比屈折率差は、0.2%以上である光ファイバの製造方法。
- 25 16. 請求の範囲第13項の光ファイバの製造方法において、
前記コアロッドは、前記コア部分と前記コア部分よりも屈折率が小さい第一クラッド部からなる光ファイバの製造方法。
17. 請求の範囲第16項の光ファイバの製造方法において、
前記第一クラッド部に対する前記コア部分の比屈折率差は0.2%以上であり、
前記第一クラッド部の屈折率は前記クラッドパイプにおける内表面から少なくとも前記クラッドパイプの厚みの $1/10$ までの部分の屈折率と、実質的に等しい

光ファイバの製造方法。

1 8. 請求の範囲第 1 項ないし第 1 7 項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

5 前記クラッドパイプの外径 D_2 と内径 d_2 の比 D_2/d_2 は 5 以上 30 以下であり、かつ前記クラッドパイプの長さが 500 mm 以上である光ファイバの製造方法。

1 9. 請求の範囲第 1 8 項の光ファイバの製造方法において、

前記比 D_2/d_2 は、7 を超え 30 以下である光ファイバの製造方法。

10 2 0. 請求の範囲第 1 項ないし第 1 9 項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

前記クラッドパイプの内周の外周に対する偏心率が有効部全長にわたって 0.3 % 以下である光ファイバの製造方法。

2 1. 請求の範囲第 1 項ないし第 2 0 項のいずれか一項記載の光ファイバの製造方法において、

15 1 200 °C において、前記コアロッドの平均粘度が前記クラッドパイプの平均粘度以上である光ファイバの製造方法。

2 2. コアとその外周にコアよりも屈折率が小さいクラッドを有する光ファイバであって、

20 前記光ファイバの軸に垂直な断面においてロッドとパイプとが加熱一体化されて形成される境界を一つのみ有し、1.38 μm の波長の光の伝送損失が 0.5 dB/km 以下である光ファイバ。

2 3. 請求の範囲第 2 2 項の光ファイバにおいて、

前記コアの中心から前記境界までの距離 p_1 と前記コアの半径 r_1 との比 p_1/r_1 は、1 以上 2 未満である光ファイバ。

25 2 4. 請求の範囲第 2 2 項または第 2 3 項の光ファイバにおいて、

前記境界からコアまでの部分である第一クラッドに対する前記コアの比屈折率差が 0.2 % 以上であり、前記第一クラッドの厚みを t としたとき、コアの中心と同心であって半径 $r + 2t$ の円と前記境界とに挟まれる部分の屈折率と前記第一クラッドの屈折率とが実質的に等しい光ファイバ。

25. 請求の範囲第22項ないし第24項のいずれか一項記載の光ファイバにおいて、

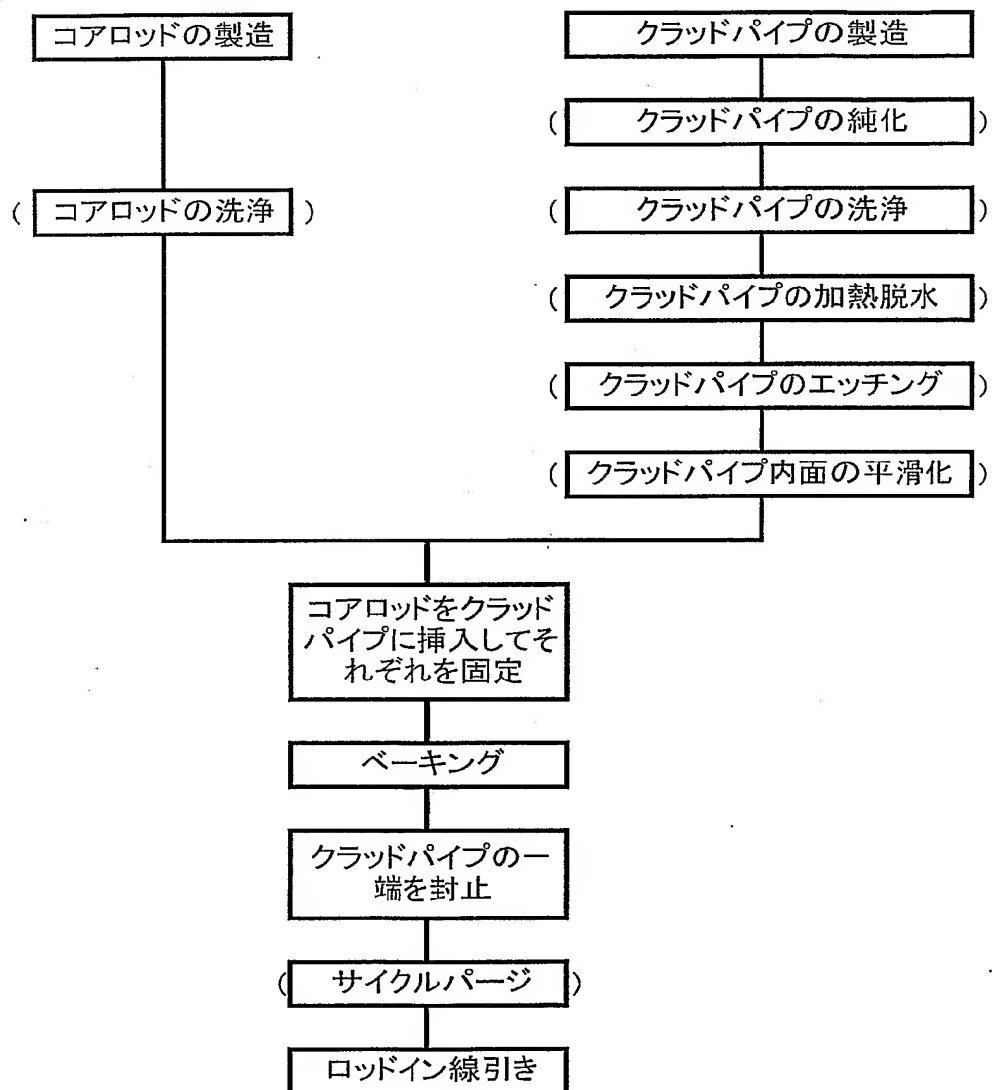
1200℃における前記コアの平均粘度が前記クラッドの平均粘度以上である光ファイバ。

5 26. 請求の範囲第22項の光ファイバにおいて、

前記コアが純石英ガラスあるいは添加材を含んだ石英ガラスからなり、前記クラッドがフッ素添加石英ガラスを主成分とするガラスからなる光ファイバ。

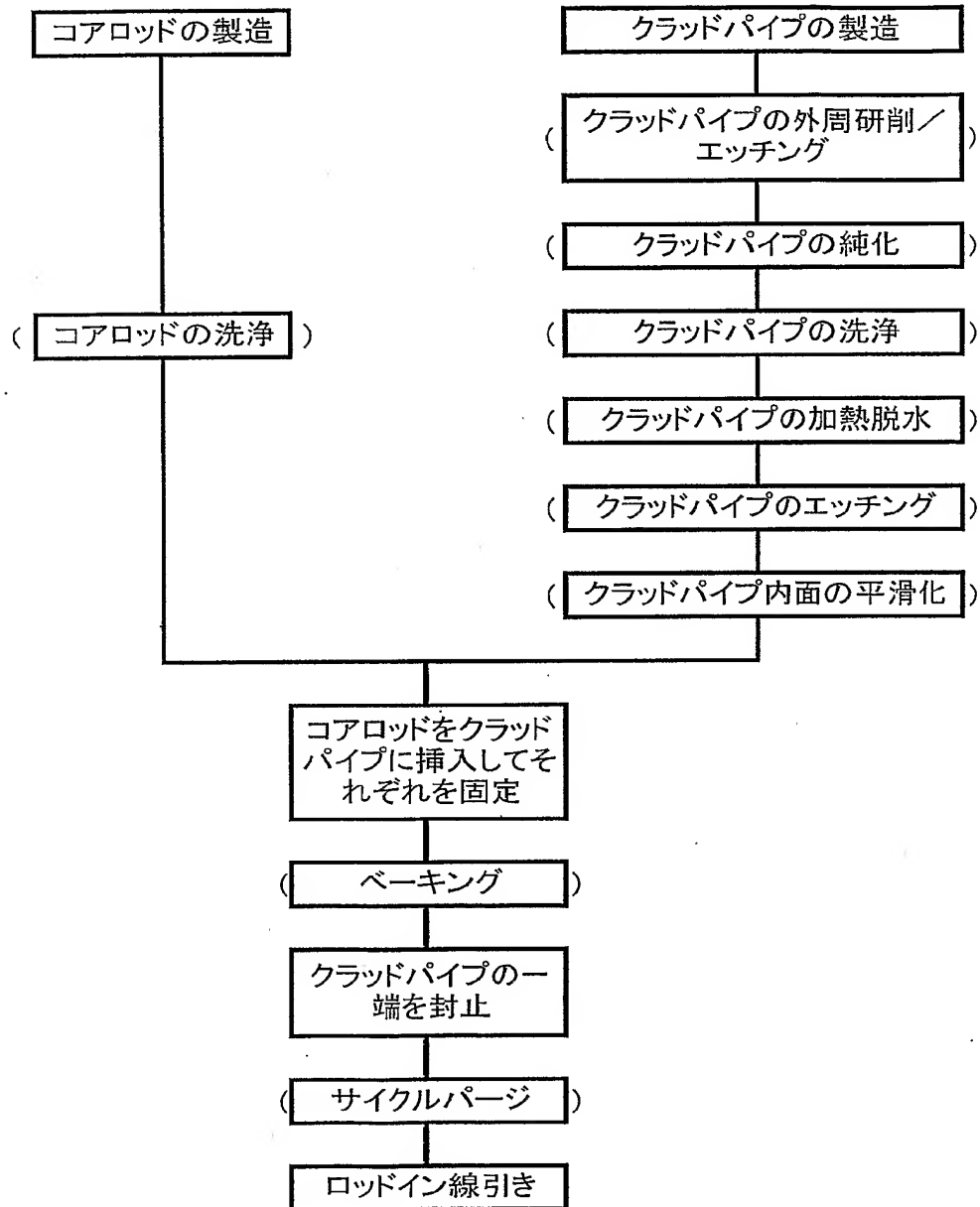
1/23

FIG. 1



2/23

FIG. 2



3/23

FIG. 3

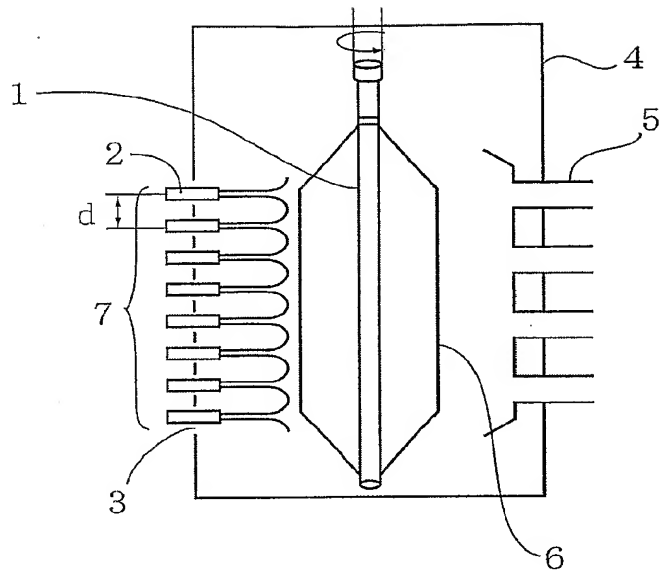


FIG. 4

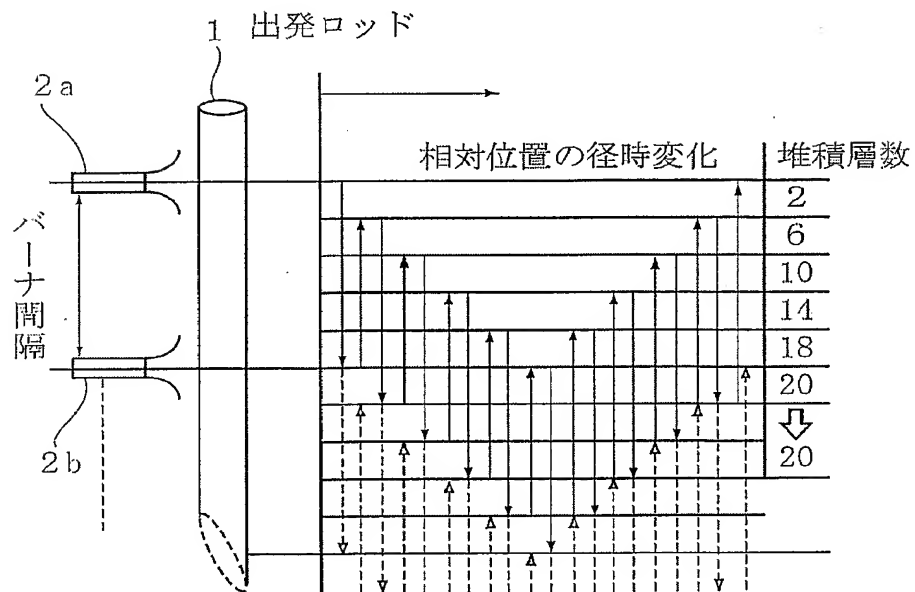
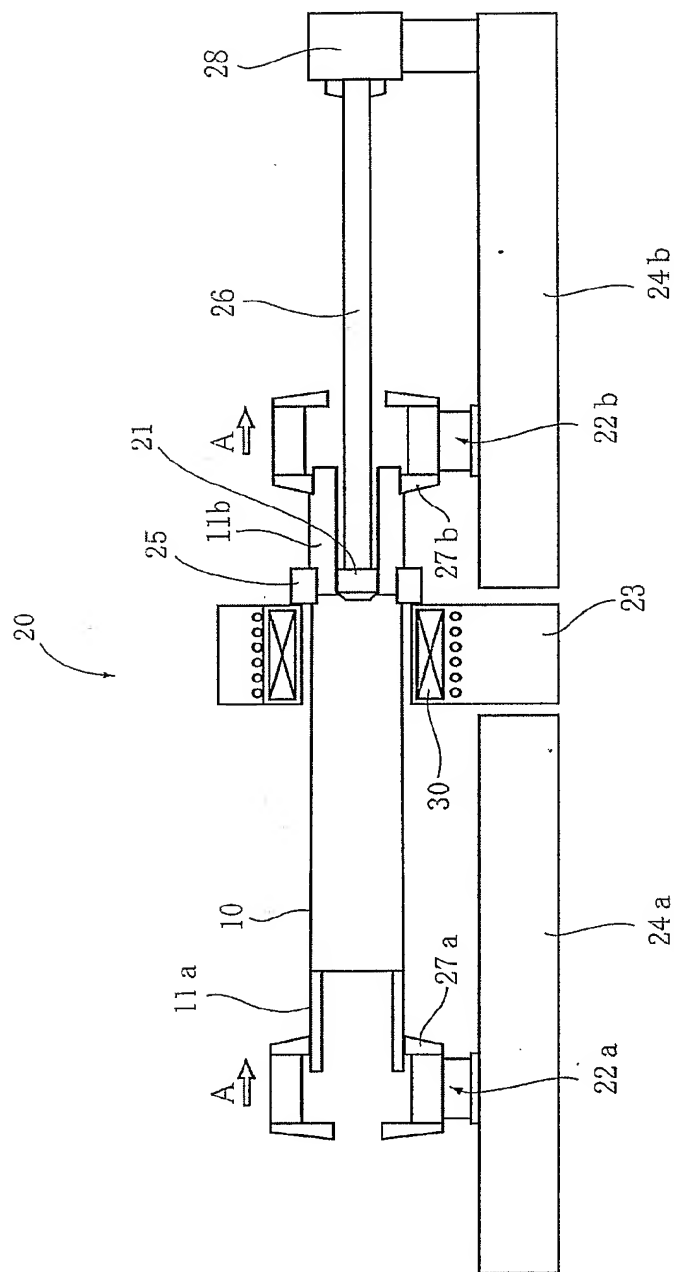


FIG. 5



5/23

FIG. 6

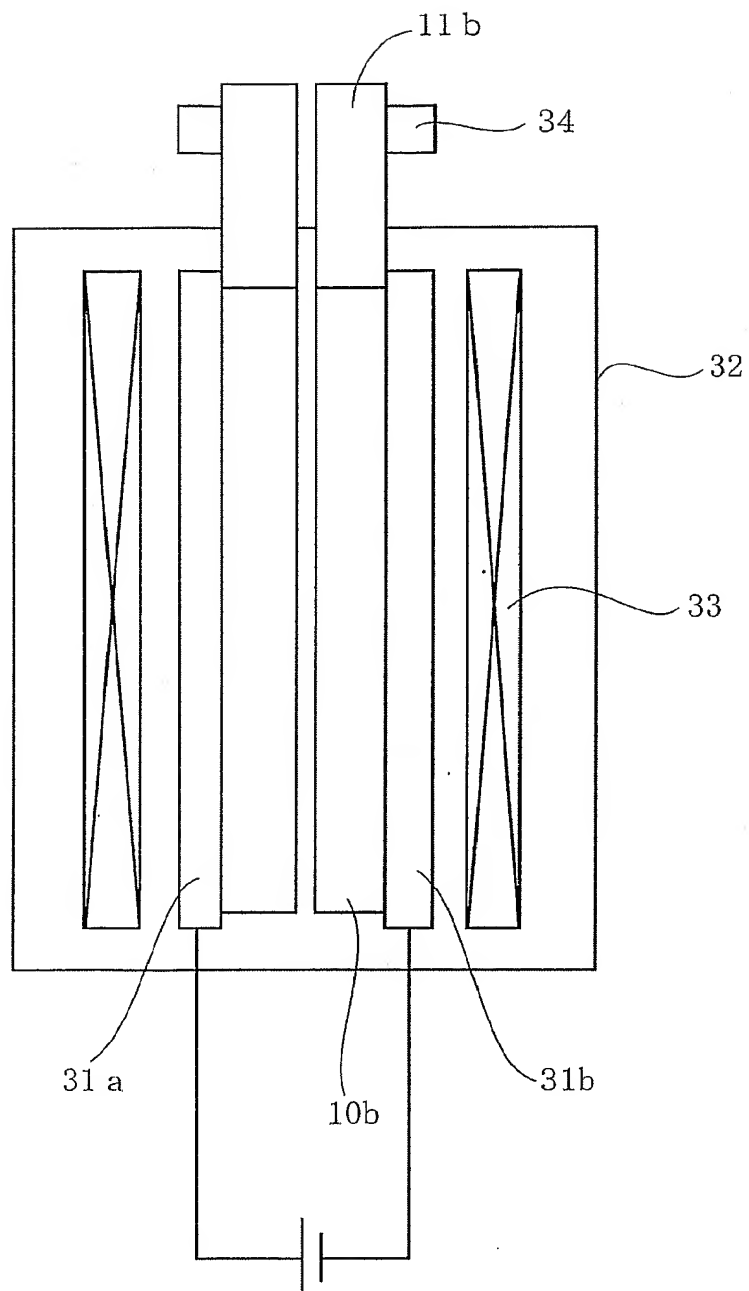


FIG. 7a

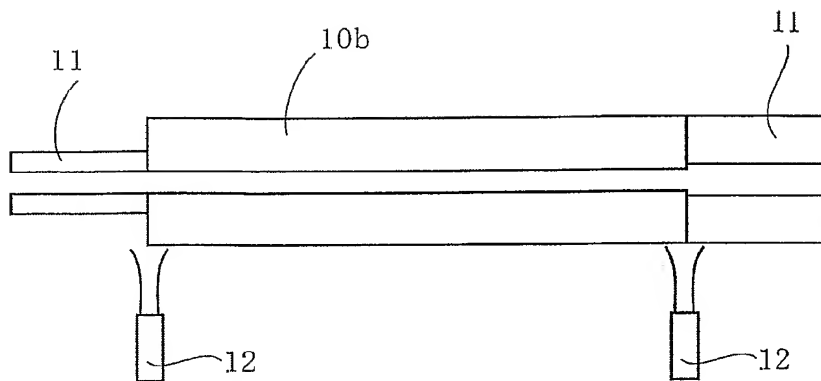
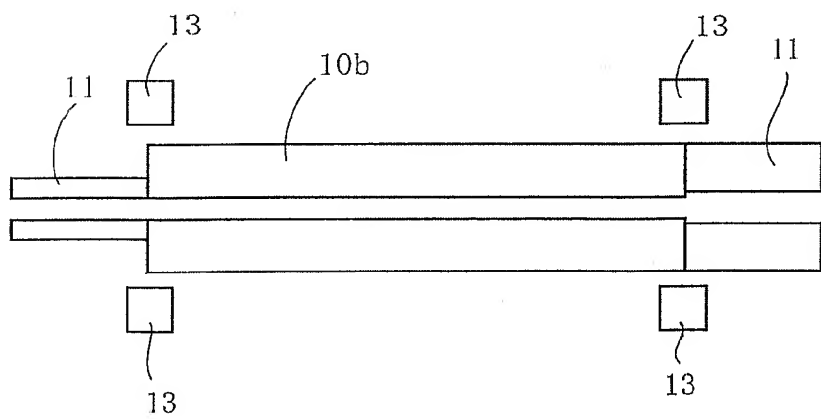
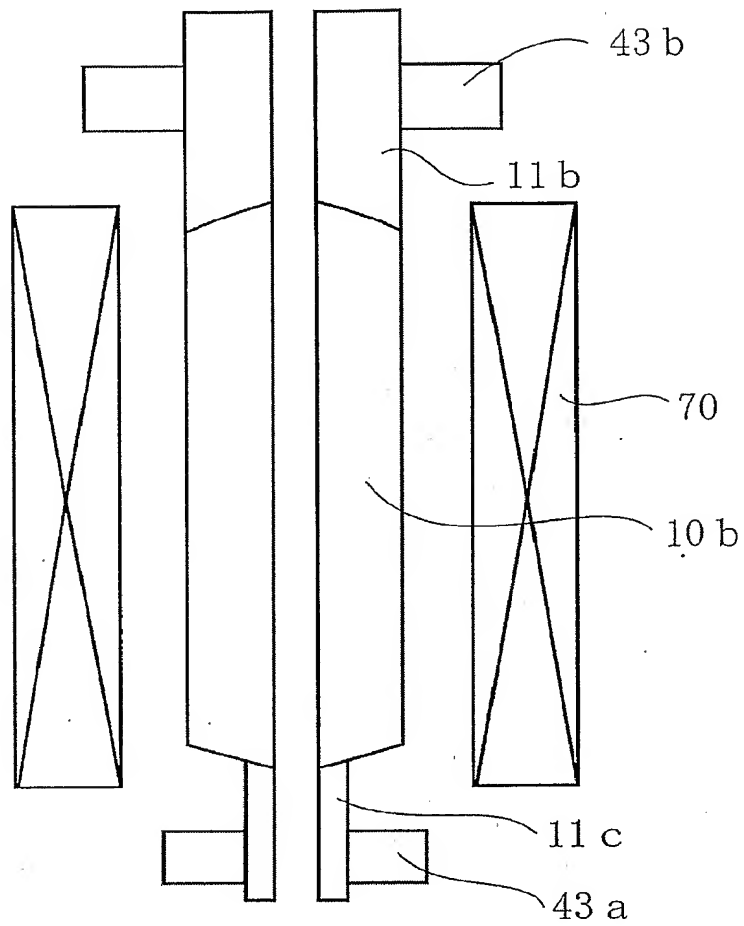


FIG. 7b



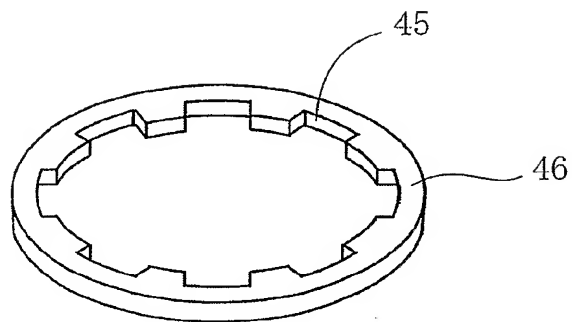
7/23

FIG. 8



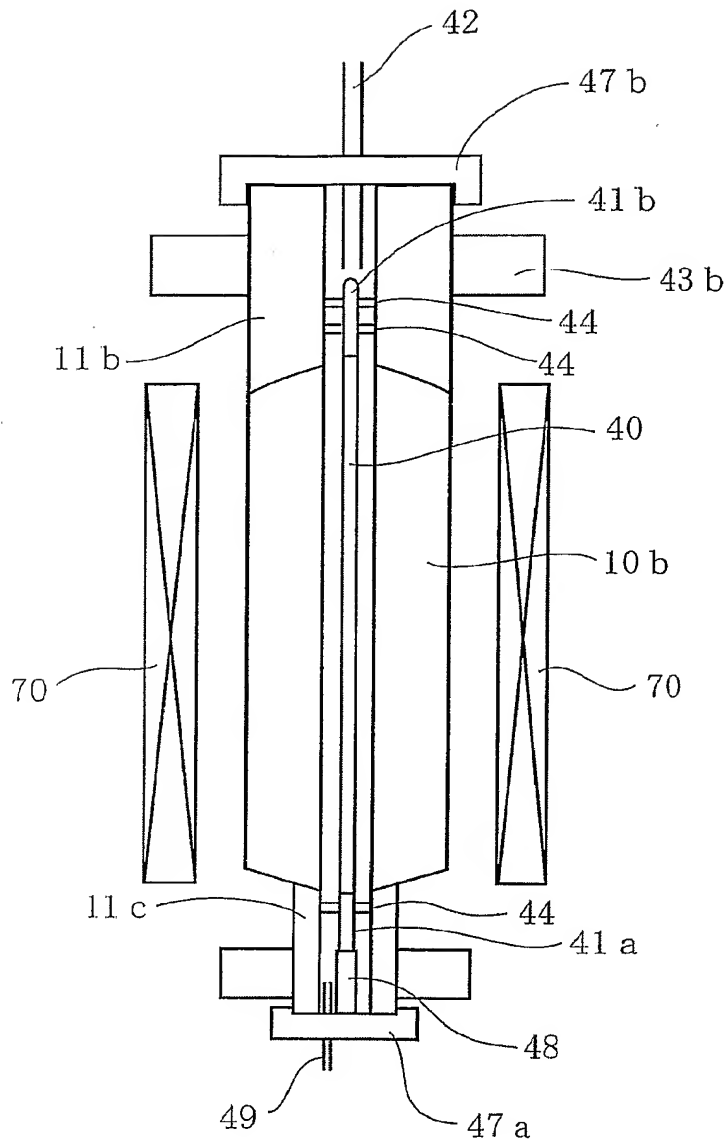
9/23

FIG. 10



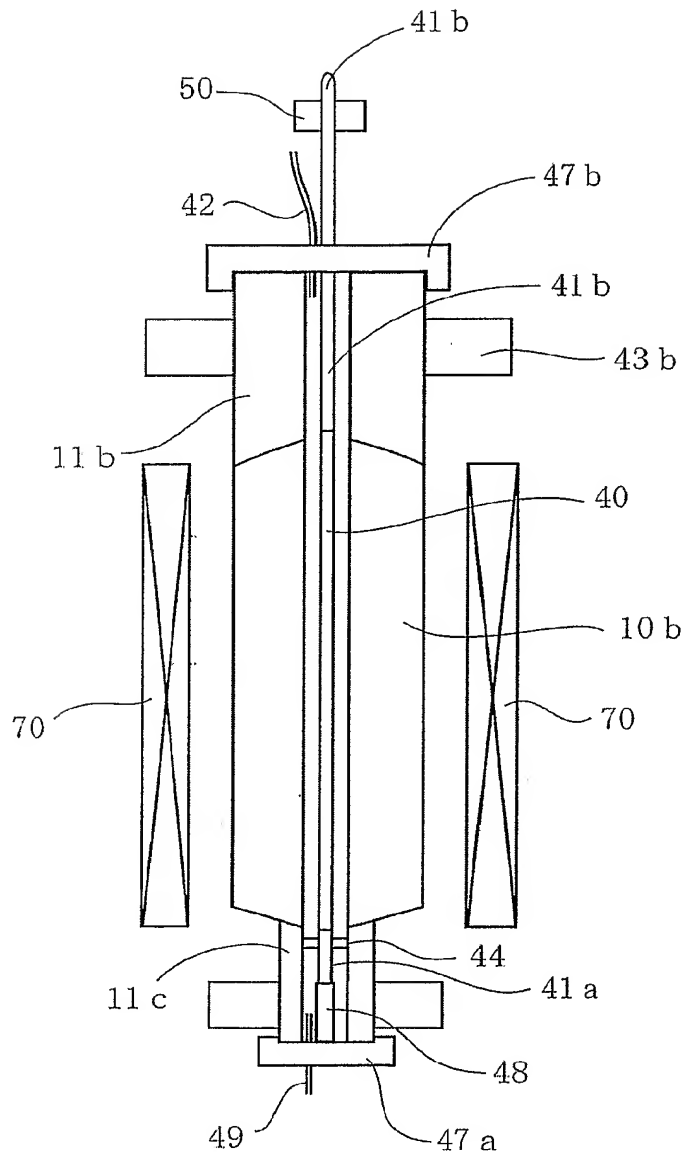
1 0/23

FIG. 11



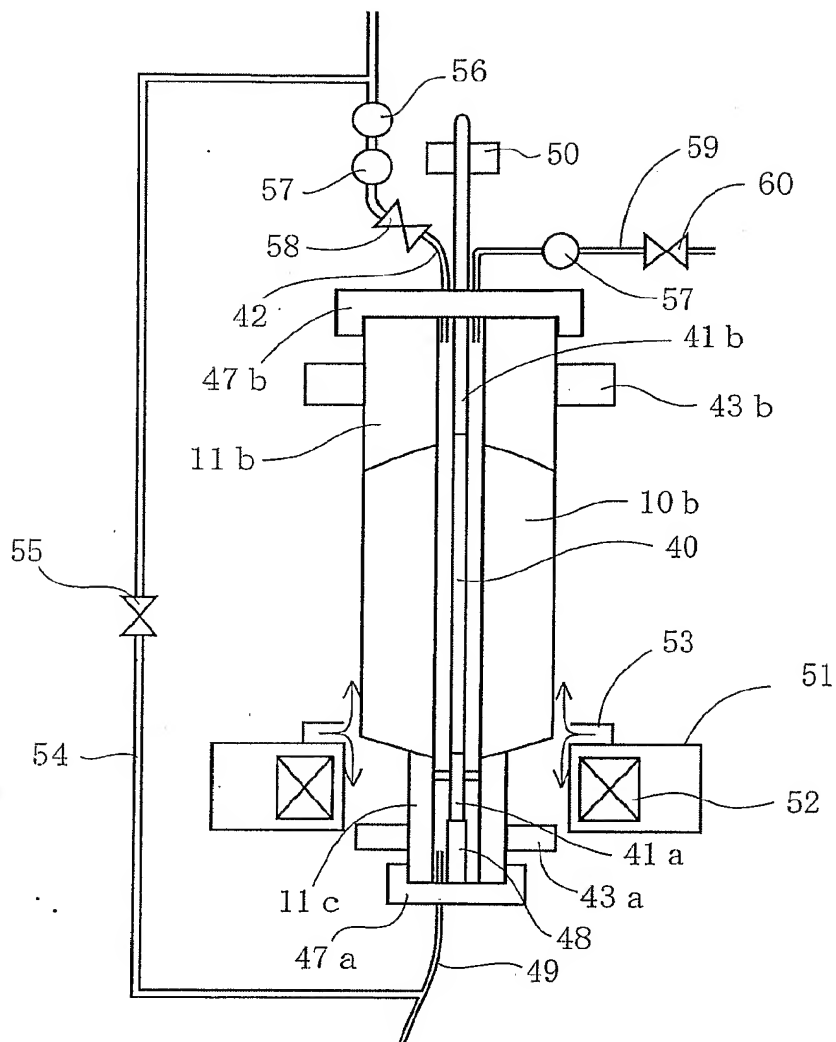
1 1/23

FIG. 12



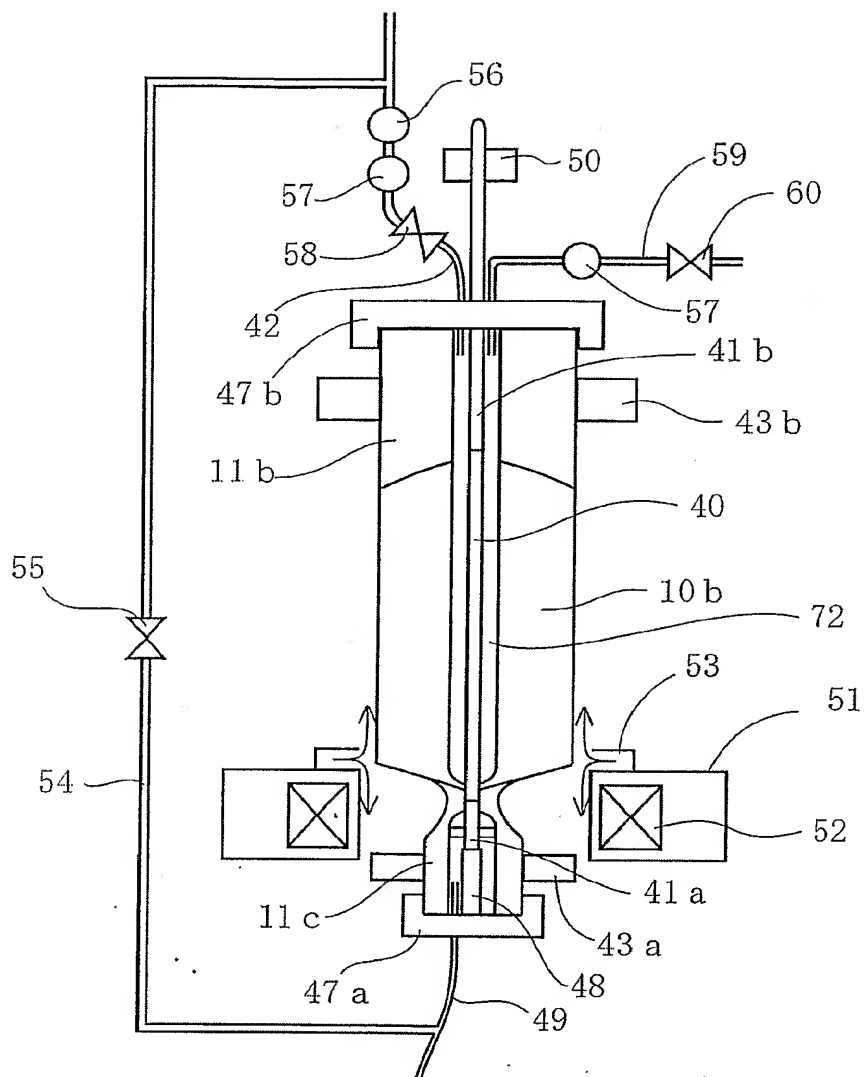
1 2/23

FIG. 13



1 3/23

FIG. 14a



1 4/23

FIG. 14b

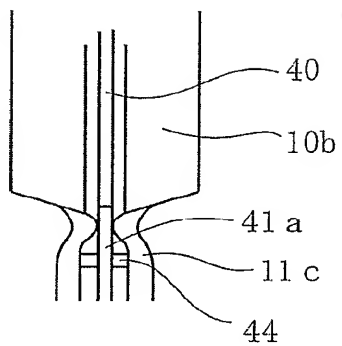
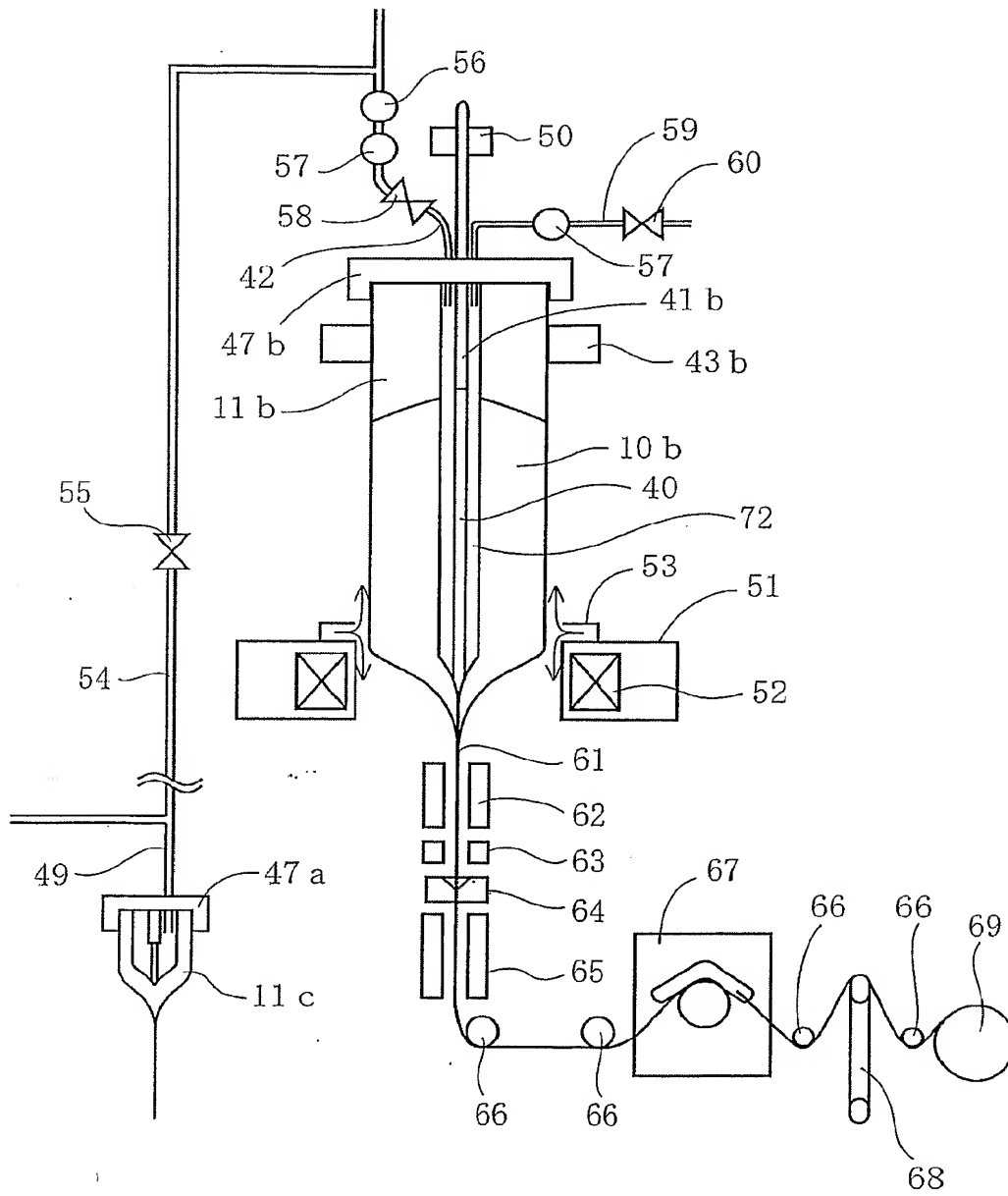
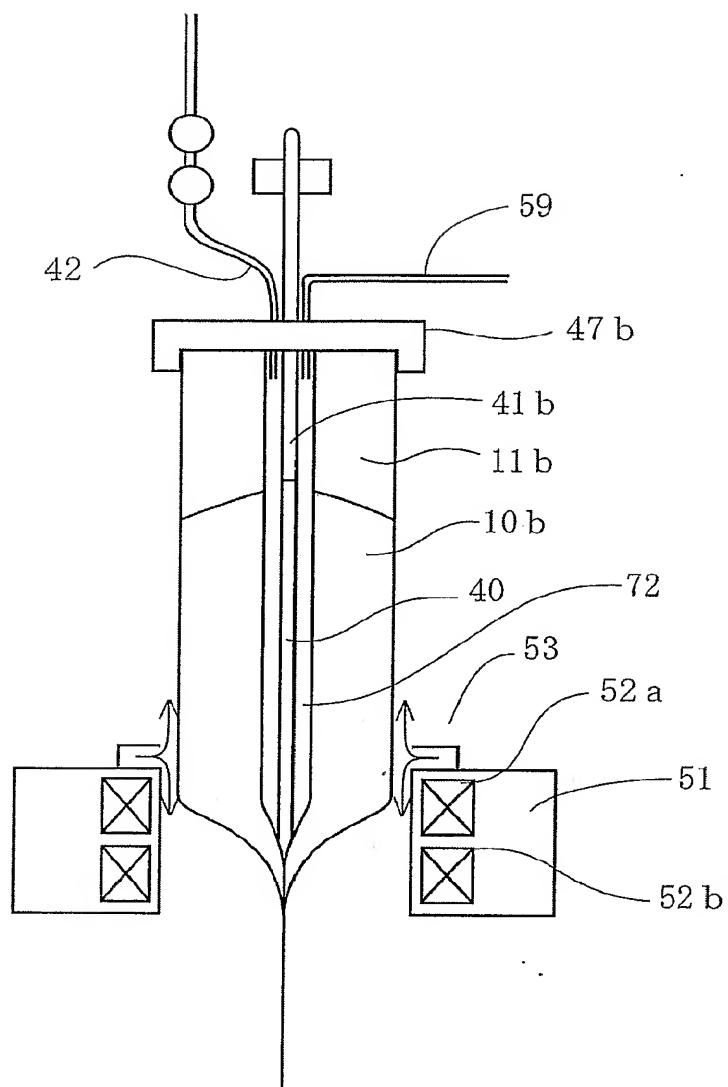


FIG. 15



1 6/23

FIG. 16



1 7 /23

FIG. 17

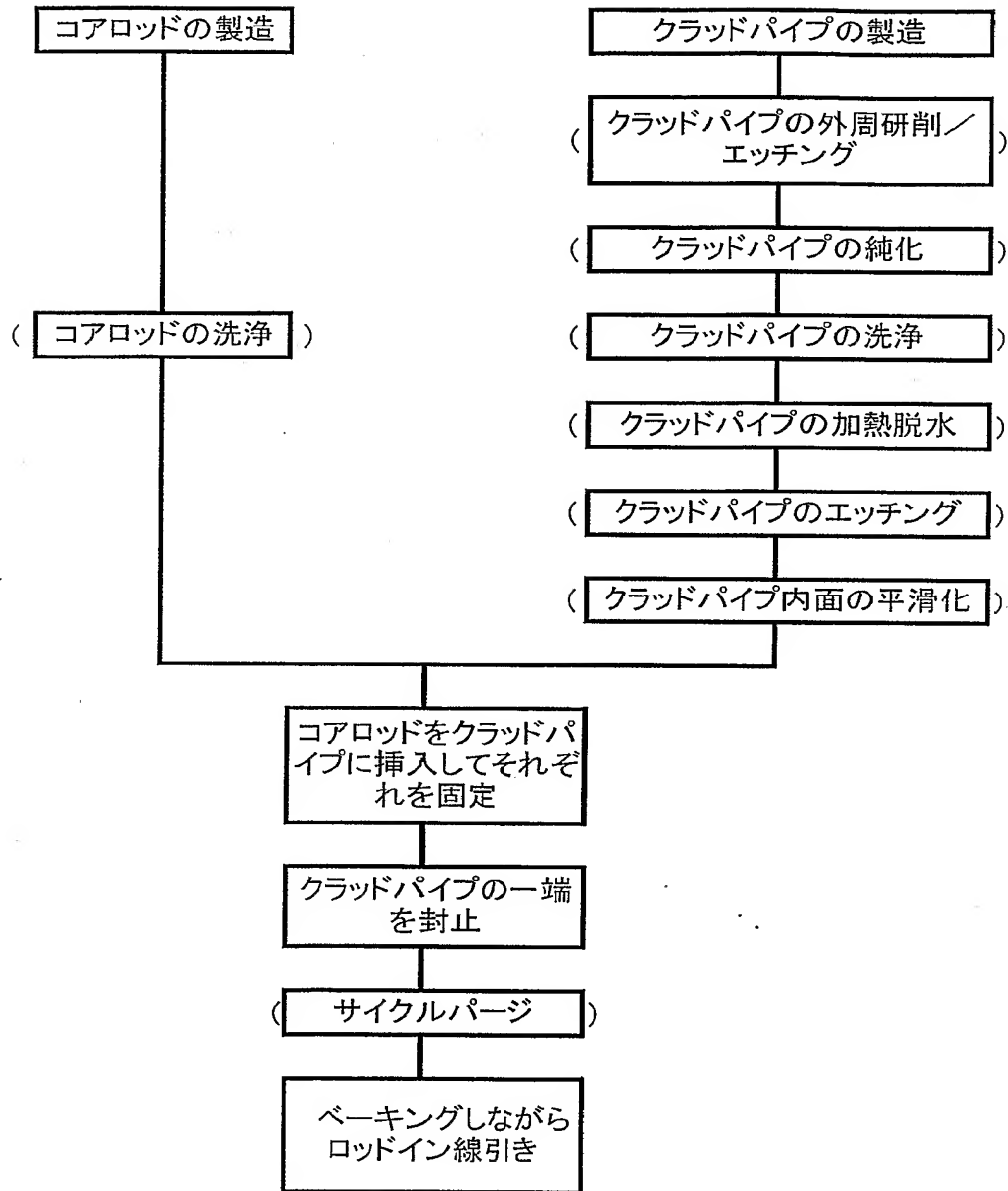
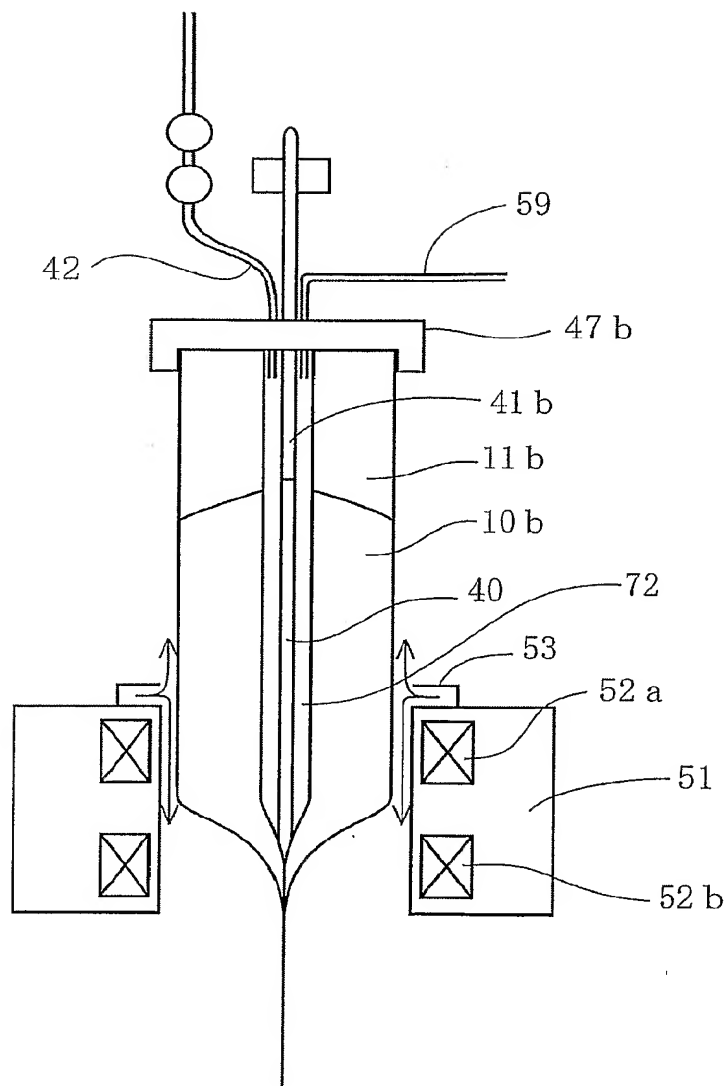
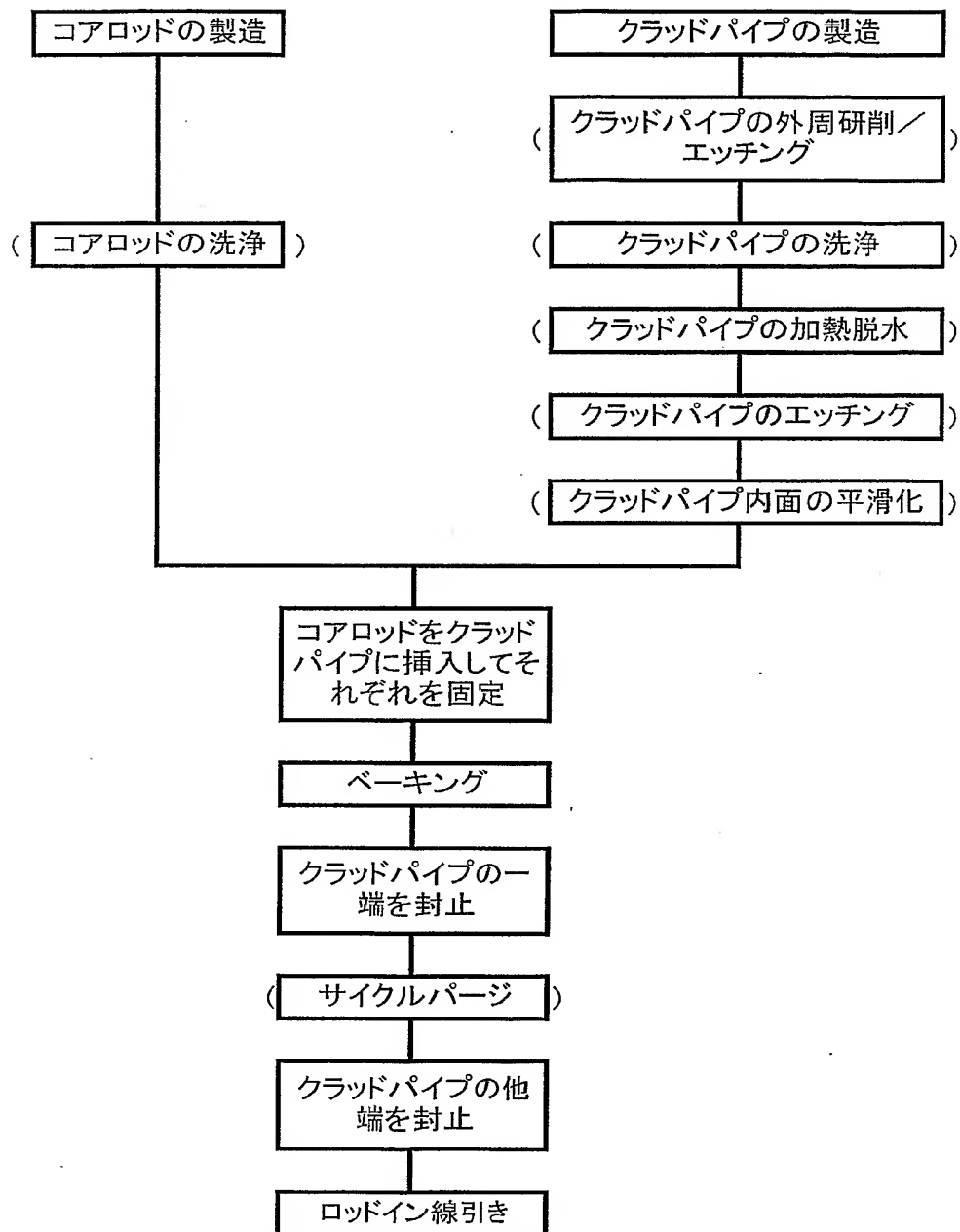


FIG. 18



1 9/23

FIG. 19



20/23

FIG. 20

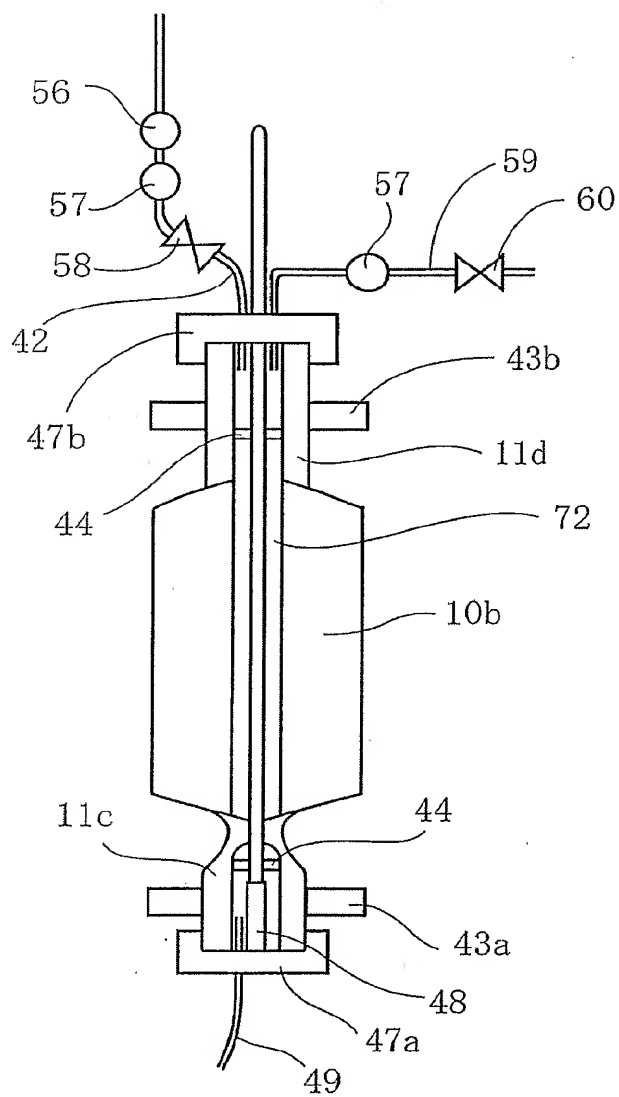
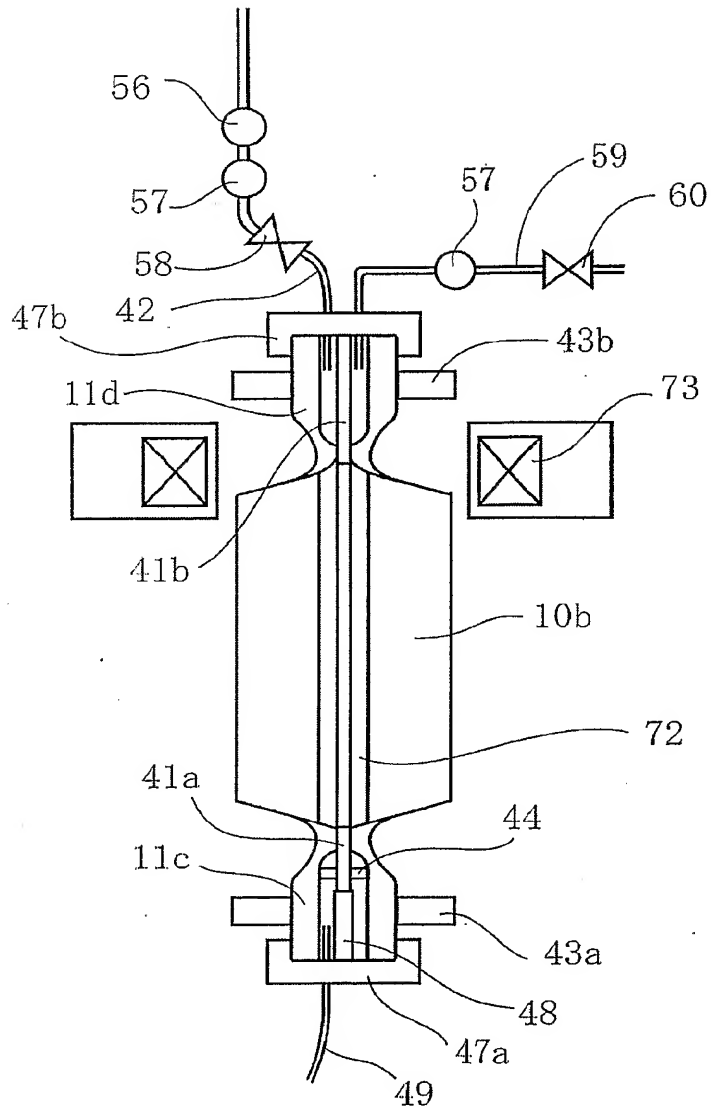


FIG. 21



2 2/23

FIG. 22

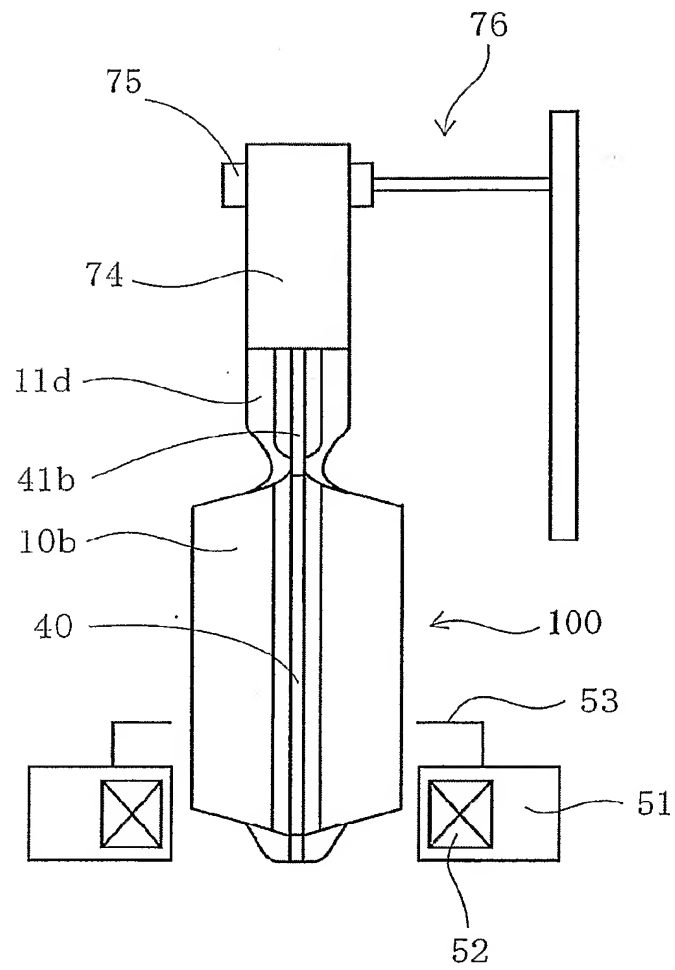
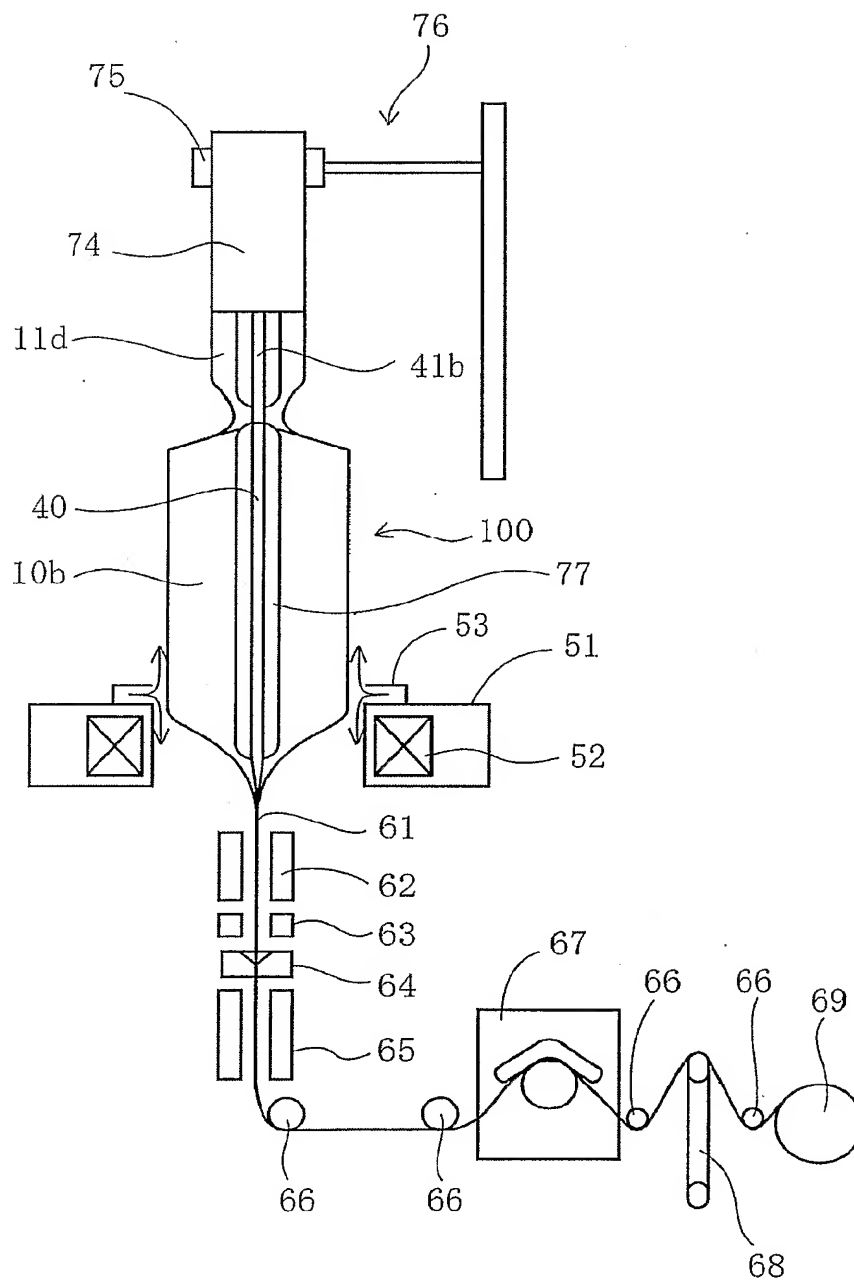


FIG. 23



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007039

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ C03B37/012, 37/023, 37/027, G02B6/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ C03B37/012, 37/023, 37/027, G02B6/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-112936 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 April, 2003 (18.04.03), Whole article (Family: none)	1-26
Y	JP 2003-48737 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 21 February, 2003 (21.02.03), Whole article (Family: none)	1-26
Y	JP 61-117126 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 June, 1986 (04.06.86), Whole article & EP 182250 A1	1-26

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 September, 2004 (13.09.04)Date of mailing of the international search report
28 September, 2004 (28.09.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007039

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-220164 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 August, 2001 (14.08.01), Whole article (Family: none)	1-26
Y	JP 41-11071 B (American Optical Co.), 21 June, 1966 (21.06.66), Whole article	1-26

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl. 7 C03B37/012, 37/023, 37/027, G02B6/00			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl. 7 C03B37/012, 37/023, 37/027, G02B6/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
Y	JP 2003-112936 A (住友電気工業株式会社), 2003.04.18, 全体 (ファミリーなし)	1-26	
Y	JP 2003-48737 A (住友電気工業株式会社), 2003.02.21, 全体 (ファミリーなし)	1-26	
Y	JP 61-117126 A (住友電気工業株式会社), 1986.06.04, 全体 & EP 182250 A1	1-26	
Y	JP 2001-220164 A (住友電気工業株式会社), 2	1-26	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」 同一パテントファミリー文献	
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 13.09.2004		国際調査報告の発送日 28.09.2004	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 板谷 一弘	4T 8821
		電話番号 03-3581-1101 内線 3464	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	001.08.14, 全体 (ファミリーなし) JP 41-11071 B (アメリカン、オプティカル、コムパ ニー) , 1966.06.21, 全体	1-26